



EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA

APLICACIONES PRÁCTICAS EN EL MANEJO DEL SUELO Y FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS

GLEBE
e-ISSN:3103-1234

VOL 1(1) 2025
MAYO - AGOSTO 2025



EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA

Junio 2025 – Editorial Unión Científica, EUC

Copyright © Editorial Unión Científica, EUC

Copyright del texto © 2025 de Autores

<https://libros.editorialunioncientifica.com>

APLICACIONES PRÁCTICAS EN EL MANEJO DEL SUELO Y FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS

**PRACTICAL APPLICATIONS IN SOIL MANAGEMENT AND CROP
FERTILIZATION**



EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA

AUTORES INVESTIGADORES

CAPÍTULO 1

Raúl Jesús Jiménez Solórzano 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, CENIAP. Aragua. Venezuela.

CAPÍTULO 2

Anais Fabiola Fagúndez Benavente 

¹Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Minerva Márquez 

²Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Henry Baloy Porras 

³Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez, UPTMKR. Mérida, Venezuela.

Carlos Humberto Aguas Changoluisa 

⁴Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico "Alpachaca" Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador.

Arnaldo José Armado Matute 

⁵Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

CAPÍTULO 3

Daniel Loreto Amoretti 

¹Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Arnaldo José Armado Matute 

²Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Darwin Alberto Núñez Torres 

³Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico "Alpachaca" Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador.

Henry Baloy Porras 

⁴Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez, UPTMKR. Mérida, Venezuela.

CAPÍTULO 4

Kevyn Porras 

¹Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Domenico Fabio Pavone Maniscalco 

²Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Diego David Moposita Vásquez 

³Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico "Alpachaca" Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador.

Arnaldo José Armado Matute 

⁴Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

CAPÍTULO 5

Sebastián Cestari-Abreu 

¹Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Centro de Biotecnología Agrícola, Laboratorio de Biofertilizantes y Biocontroladores.

Panamericana km 11, Altos de Pipe, Los Salias, Miranda. Venezuela.

Saúl Flores 

²Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Centro de Ecología, Laboratorio de Suelos, Ambiente y Agricultura. Panamericana km 11, Altos de

Pipe, Los Salias, Miranda. Venezuela.

Copyright, 2025

Editorial Unión Científica

Autores:

Arnaldo José Armado Matute 
Raúl Jesús Jiménez Solórzano 
Anais Fabiola Fagúndez Benaventa 
Minerva Márquez 
Henry Baloy Porras 
Carlos Humberto Aguas Changoluisa 
Daniel Loreto Amoretti 
Darwin Alberto Núñez Torres 
Kevyn Porras 
Domenico Fabio Pavone Maniscalco 
Diego David Moposita Vásquez 
Sebastián Cestari-Abreu 
Saúl Flores 

Título: Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos

ISBN: 978-9942-7391-6-2.

ISBN: 978-9942-7391-6-2



1ra Edición (On-line)

Arnaldo José Armado Matute; Raúl Jesús Jiménez Solórzano; Anais Fabiola Fagúndez Benaventa; Minerva Márquez; Henry Baloy Porras; Carlos Humberto Aguas Changoluisa; Daniel Loreto Amoretti; Darwin Alberto Núñez Torres; Kevyn Porras; Domenico Fabio Pavone Maniscalco; Diego David Moposita Vásquez; Sebastián Cestari-Abreu y Saúl Flores.

Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos.

Editorial: Editorial Unión Científica EUC, Ambato - Ecuador 2025.

ISBN: 978-9942-7391-6-2

Área: Ciencias y gestión de suelos.

Páginas: 139.



Licencia Creative Commons BY-NC-SA (Atribución, No Comercial, Compartir igual) 4.0 Internacional.

Nombre de la colección seriada: Glebe.

e ISSN: 3103 1234.

Volumen 1(1) 2025. Mayo - agosto 2025.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN: Centro de Investigaciones en Ambiente, Biología y Química, AMBIOQUIM. Universidad de Carabobo. Naguanagua, Venezuela.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN: Grupo Agropecuario de Proteínas Bioactivas y Péptidos, AGROPROBIOPEP. GI-02-2017, RCU-010-2022-138. Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN: Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente – LIBSA, Venezuela.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Impacto ambiental. Química agrícola. Bioquímica de suelos. Biotecnología de microorganismos.

ÁREA DISCIPLINAR: Química Ambiental. Agroecología. Ciencias del Suelo. Microbiología aplicada.

CAMPO DE INVESTIGACIÓN: Ciencias del Agro y el Mar.

ÁREAS PRIORITARIAS: Ambiente y hábitat. Desarrollo sustentable y biodiversidad.

DOMINIOS, RCU-003-2025-036: BIO Aprovechamiento Agropecuario, Recursos Naturales y Desarrollo Biotecnológico.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN, RCU-003-2025-036: Biotecnología Vegetal, Animal, de los Alimentos y ambiental.

SUB-LÍNEA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN, RCU-003-2025-036: Desarrollo y evaluación de alimentos funcionales.

CAMPO AMPLIO: Agricultura, silvicultura, pesca y veterinaria, 08-A.

CAMPO ESPECÍFICO: Agricultura, 1-8A.

CAMPO DETALLADO: Producción agrícola y ganadera, 1-18A.

Clasificación Dewey Decimal (DDC):

631.8 Fertilizantes. acondicionadores del suelo. reguladores del crecimiento.

Clasificación THEMA:

TVBP - Ciencias y gestión de suelos.

Tipo de Contenido: Ciencia y tecnología.

Libro producto de: VIII Jornadas de Ciencias del suelo. Venezuela.

Proceso de Revisión: Double blind.

DOI: <https://doi.org/10.63804/gb.1.1>

Primera versión disponible en línea: junio de 2025.

EDITOR DE SECCIÓN

*Daniel Arias Toro, PhD.
Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador
dariast@utb.edu.ec*

COMITÉ CIENTÍFICO

*Cristian Vacacela Gómez, PhD.
INFN-Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italia
cristianisaac.vacacelagomez@fis.unical.it*

*Óscar Ali Corona Salazar, PhD.
Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. Campus Santiago. República
Dominicana. oa.corona@ce.pucmm.edu.do*

*Miguel Israel Bennasar García, PhD.
Instituto Superior de Formación Docente Salomé Ureña. República Dominicana
miguel.bennasar@isfodosu.edu.do*

*Helen Goitia Semeco, PhD.
Universidad Nacional de La Plata. Argentina
hgoitia@gmail.com*

*Diana Carolina Coello Fiallos, PhD.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador
diana.coello@esPOCH.edu.ec*

*Ruth Mariela Álvarez Escalona, PhD.
Universidad Experimental del Táchira. Venezuela
rmalvarez@unet.edu.ve*

*María Raquel González Legendre, MSc.
CEO Ciencia por la verdad. Ecuador
contacto@cienciaporlaverdad.com*

*Esquilo Pericles Morán Olmedo, MSc.
Arquitecto. Maestría en Ciencias de Arquitectura*

Junio 2025 – Editorial Unión Científica, EUC

Copyright © Editorial Unión Científica, EUC

Copyright del texto © 2025 de Autores

<https://libros.editorialunioncientifica.com>

RESUMEN

Este libro reúne una serie de investigaciones aplicadas que abordan diferentes estrategias para mejorar el manejo del suelo y optimizar la fertilización de cultivos, con un enfoque orientado a la sostenibilidad y la eficiencia productiva. A través de cinco capítulos, se presentan estudios de campo y laboratorio que examinan desde la confiabilidad de técnicas prácticas para el análisis de suelos, hasta el uso de materiales orgánicos no convencionales como el hueso bovino, explorado por su contenido de fósforo y su potencial como enmienda agrícola. Se incluyen también trabajos sobre el desarrollo de plántulas de cacao criollo bajo tratamientos con fertilizantes orgánicos minerales y hongos benéficos como *Trichoderma spp.*, se destaca su contribución al crecimiento vegetal. Asimismo, se evalúan los efectos de la fertilización orgánica e inorgánica sobre cultivos forrajeros como el pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) y de hortalizas como el ají (*Capsicum annum*), considerando variables agroproductivas y la calidad nutricional del forraje y los frutos. La obra ofrece una mirada integral al uso de recursos locales y bioinsumos para el manejo sostenible de los sistemas agrícolas, dirigida a técnicos agropecuarios, estudiantes, investigadores y productores interesados en aplicar conocimientos científicos al contexto rural. El contenido se caracteriza por su aplicabilidad, lenguaje accesible y fundamentación técnica, lo que convierte a este libro en una herramienta para la formación profesional y la toma de decisiones en el ámbito agropecuario.

Palabras clave: agricultura sostenible; análisis del suelo; biofertilizantes; cultivo; técnicas agrícolas.

ABSTRACT

This book brings together a series of applied research studies that explore different strategies to improve soil management and optimize crop fertilization, with a focus on sustainability and productive efficiency. Across five chapters, it presents field and laboratory studies ranging from the reliability of practical techniques for soil analysis to the use of unconventional organic materials such as bovine bone, studied for its phosphorus content and potential as a soil amendment. It also includes experiments on the development of criollo cacao seedlings treated with organomineral fertilizers and beneficial fungi like *Trichoderma spp.*, highlighting their role in plant growth promotion. Additionally, the book evaluates the effects of organic and inorganic fertilization on forage crops such as bermudagrass (*Cynodon dactylon*) and vegetables like chili pepper (*Capsicum annuum*), considering agro-productive variables and the nutritional quality of forage and fruits. This work provides a comprehensive look at the use of local resources and bio-inputs for the sustainable management of agricultural systems, aimed at agricultural technicians, students, researchers, and producers interested in applying scientific knowledge to rural contexts. The content is characterized by its practical application, accessible language, and technical foundation, making this book a valuable tool for professional training and decision-making in the agricultural field.

Keywords: agricultural techniques; biofertilizers; cultivation; soil analysis; sustainable agriculture.

Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos

Índice de capítulos

	Introducción <i>Arnaldo Armado.</i>	12-15
Capítulo 1	Efectividad de técnicas aplicables en campo para estudios de suelos y su confiabilidad con los resultados de laboratorio. <i>Raúl Jiménez*.</i>	16-30
Capítulo 2	Estudio comparativo del efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento y productividad del cultivo de Ají (<i>Capsicum annuum</i>). <i>Anaís Fagúndez; Minerva Márquez; Henry Baloy; Carlos Aguas y Arnaldo Armado*.</i>	31-63
Capítulo 3	Efectos de la fertilización orgánica e inorgánica sobre variables agroproductivas y composición química del pasto bermuda, <i>Cynodon dactylon L. Pers.</i> <i>Daniel Loreto; Arnaldo José Armado; Darwin Núñez y Henry Baloy*.</i>	64-84
Capítulo 4	Desarrollo de plántulas de cacao criollo, bajo diferentes tratamientos con fertilizantes orgánicos minerales y el hongo <i>Trichoderma spp.</i> <i>Kevyn Porras; Domenico Pavone; Diego Moposita y Arnaldo Armado*.</i>	85-112
Capítulo 5	Contenido de fósforo en tibia ósea bovina, y potencial del hueso bovino para incrementar el perfil nutricional de suelos agrícolas. <i>Sebastián Cestari-Abreu* y Saúl Flores.</i>	113-121

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso para la producción agrícola, y su buen manejo es determinante para lograr cultivos sanos, rendimientos sostenibles y una producción amigable con el ambiente. En los últimos años, se ha fortalecido el interés por utilizar técnicas que permitan evaluar la calidad del suelo de forma práctica, aprovechar mejor los recursos orgánicos y aplicar métodos más sostenibles para mejorar los cultivos [1].

En el contexto agropecuario actual, los desafíos vinculados a la productividad, la sostenibilidad del suelo y el uso racional de fertilizantes requieren soluciones innovadoras, accesibles y adaptadas a las realidades locales. La degradación de los suelos, el agotamiento de nutrientes y el uso excesivo de insumos sintéticos han generado impactos ambientales y económicos que comprometen la seguridad alimentaria y la resiliencia de los sistemas agrícolas [2]. Por esta razón, es prioritario promover prácticas agrícolas sostenibles que integren el conocimiento técnico-científico con las experiencias del territorio.

Uno de los pilares fundamentales de la agricultura sostenible es el manejo adecuado del suelo, considerado un recurso vivo que sustenta la producción vegetal. Métodos de diagnóstico accesibles y confiables permiten a los técnicos tomar decisiones informadas sobre las necesidades de fertilización, rotación de cultivos y conservación del suelo [3]. En este marco, los análisis comparativos entre técnicas de campo y de laboratorio, como se aborda en el primer capítulo, resultan clave para fortalecer las capacidades locales.

Asimismo, el uso de residuos orgánicos como fertilizantes representa una alternativa eficaz para mejorar la fertilidad del suelo, reducir costos y cerrar ciclos de nutrientes. El aprovechamiento del hueso bovino como fuente de fósforo, presentado en este libro, se alinea con principios de economía circular y bioeconomía [4]. De igual forma, la incorporación de bioinsumos como *Trichoderma spp.* y el uso combinado de fertilizantes orgánicos e inorgánicos se han demostrado eficaces para mejorar el desarrollo vegetal y la calidad del producto, como lo evidencian estudios recientes en cultivos tropicales y forrajeros [5].

Este libro recoge cinco estudios aplicados que aportan soluciones concretas y accesibles para estos desafíos, combinando conocimientos técnicos con experiencias de campo. El primer capítulo analiza técnicas de evaluación de suelos aplicables directamente en campo, comparando sus resultados con la información obtenida en el laboratorio. Este enfoque busca validar métodos más rápidos y económicos que pueden ser útiles para técnicos y productores, especialmente en zonas rurales donde no siempre se cuenta con acceso a laboratorios especializados.

El segundo capítulo compara los resultados del uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en el cultivo de ají (*Capsicum annuum*), evaluando el crecimiento y la productividad de las plantas. Este estudio ayuda a entender cómo lograr buenos rendimientos sin depender exclusivamente de insumos químicos, y abre el camino hacia prácticas más sostenibles y accesibles para pequeños y medianos productores.

El tercer capítulo estudia los efectos de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el pasto bermuda (*Cynodon dactylon*), una especie forrajera muy usada en ganadería. Se analiza cómo estas prácticas influyen tanto en la producción de biomasa como en la calidad nutricional del forraje, lo cual es importante para la alimentación animal y la rentabilidad del sistema productivo.

En el cuarto capítulo, se enfoca en el cultivo de cacao criollo, analizando cómo responden sus plántulas al uso de fertilizantes orgánicos minerales y al hongo benéfico *Trichoderma spp.* Este trabajo es especialmente útil para quienes trabajan en viveros o están iniciando cultivos, ya que propone combinaciones que pueden fortalecer el desarrollo inicial de las plantas y reducir el uso de agroquímicos.

Finalmente, el quinto capítulo presenta una propuesta innovadora: el uso de hueso bovino como fuente de fósforo para suelos agrícolas. A partir del análisis del contenido de fósforo en la tibia ósea, se estudia su potencial como enmienda orgánica, lo cual ofrece una alternativa para reciclar residuos pecuarios y mejorar la nutrición del suelo y minimizar la dependencia de fertilizantes sintéticos costosos.

En conjunto, estos capítulos ofrecen herramientas y conocimientos aplicables al trabajo diario en el campo, a la formación técnica y a la toma de decisiones en proyectos agroproductivos. El objetivo fue aportar soluciones prácticas basadas en evidencia científica, que ayuden a mejorar los suelos, aumentar la productividad y avanzar hacia una agricultura más sostenible.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Centro de Investigaciones en Ambiente, Biología y Química (AMBIOQUIM), Venezuela; el Grupo Agropecuario de Proteínas Bioactivas y Péptidos (AGROPROBIOPEP, GI-02-2017, RCU-010-2022-138), Ecuador; y el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente (LIBSA), Venezuela, en el marco del Proyecto de Investigación “Identificación de microorganismos patógenos mediante la técnica m-PCR en agua de consumo humano y productos hortofrutícolas de los mercados de Guaranda” (PIV-3-2023, RCU-011-2024-152).

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los estudios y análisis presentados en los diferentes capítulos de este libro están disponibles previa solicitud justificada. Los interesados pueden dirigirse al autor de correspondencia de cada capítulo, quien facilitará el acceso a los conjuntos de datos empleados para el desarrollo de cada trabajo, siempre que no existan restricciones legales, éticas o institucionales que lo impidan. Con ello se busca garantizar la transparencia académica y fomentar la replicabilidad de la información compartida.

Conflicto de interés

Los autores de los capítulos declaran que no existen conflictos de interés financieros, comerciales ni personales que puedan haber sesgado de manera inapropiada en los contenidos, interpretaciones o conclusiones del libro. Todas las contribuciones se realizaron con independencia académica, con lo cual se garantiza la integridad y el rigor científico de la publicación.


Referencias

- [1] D. Vasu, P. Tiwary, P. Chandran, and S. K. Singh, “Soil Quality for Sustainable Agriculture,” in *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production*, Singapore: Springer Singapore, 2020, pp. 41–66. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_2.
- [2] A. Rehman, M. Farooq, D.-J. Lee, and K. H. M. Siddique, “Sustainable agricultural practices for food security and ecosystem services,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 56, pp. 84076–84095, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23635-z>.
- [3] W. Grzebisz et al., “Soil Fertility Clock—Crop Rotation as a Paradigm in Nitrogen Fertilizer Productivity Control,” *Plants*, vol. 11, no. 21, p. 2841, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/plants11212841>.
- [4] G. Izydorczyk et al., “Sustainable method of phosphorus biowaste management to innovative biofertilizers: A solution for circular economy of the future,” *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 27, p. 100634, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100634>.

- [5] R. Rotili Junior, P. J. Radons, and M. Redin, “Desempenho da cultura da soja produzida com produtos químicos e bioinsumos on-farm para controle de pragas e doenças,” *Rev. Ciências Agroveterinárias*, vol. 23, no. 1, pp. 53–61, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.5965/223811712312024053>.

Efectividad de técnicas aplicables en campo para estudios de suelos y su confiabilidad con los resultados de laboratorio

Effectiveness of field-applicable techniques for soil studies and their reliability with laboratory results

Raúl Jesús Jiménez Solorzano*¹ 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, CENIAP. <https://ror.org/04h3gcf69>. Aragua, Venezuela. raulsolono@gmail.com

*Autor para correspondencia: raulsolono@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.1>

GLEBE
E-ISSN: 3103 1234
Volumen 1(1).
Mayo - agosto 2025

APLICACIONES PRÁCTICAS
EN EL MANEJO DEL SUELO
Y FERTILIZACIÓN DE
CULTIVOS
ISBN: 978-9942-7391-6-2

Resumen

El suelo es un organismo vivo dinámico donde las raíces de las plantas interactúan profundamente con sus distintos horizontes, extrayendo minerales esenciales para su crecimiento y liberando sustancias que promueven la actividad microbiana alrededor de las raíces. El análisis de fertilidad del suelo es fundamental para asegurar buenas cosechas. En Venezuela, se han establecido laboratorios de suelos, aguas y enmiendas en los últimos años. Sin embargo, a menudo estos laboratorios se encuentran a distancia de las unidades de producción agrícolas, y existe un notable desconocimiento sobre la oferta de servicios entre los productores. Como resultado, el manejo de los suelos se realiza de forma empírica. Es importante que los productores conozcan bien el suelo de su finca, ya que invertir en la tierra es esencial para producir en el campo. Actualmente, están ganando popularidad algunas metodologías de campo para evaluar el suelo. Por ejemplo, la estimación de la textura del suelo a través de la sedimentación de partículas en un envase transparente. También se utiliza el método del hoyo en campo para calcular la densidad aparente y estimar otras propiedades que indican el movimiento del agua y la penetración de las raíces. La descripción del perfil del suelo en sus diferentes horizontes proporciona información valiosa sobre su calidad, revelando características físicas, químicas y biológicas claves. Además, equipos de campo como el potenciómetro para medir el pH son útiles para predecir la dinámica de los nutrientes que pueden ser aprovechados por las plantas. Considerando la importancia de los estudios de fertilidad de suelos en laboratorio, es recomendable combinarlos con estas metodologías de campo para la toma de decisiones informadas sobre su fertilidad.

Palabras clave: agricultura, análisis, fertilidad, producción, suelo.

Citación sugerida: Jiménez, R. (2025). Efectividad de técnicas aplicables en campo para estudios de suelos y su confiabilidad con los resultados de laboratorio. En *Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos* (pp. 16–30). Colección seriada: *Glebe*, 1(1). <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.1>.



Recibido: 4 de abril, 2025
Revisado: 12 de mayo, 2025
Aceptado: 19 de junio 2025

Abstract

The soil is a dynamic living organism where plant roots interact deeply with its different horizons, extracting essential minerals for growth and releasing substances that promote microbial activity around the roots. Soil fertility analysis is crucial to ensure good harvests. In Venezuela, soil, water, and fertilizer laboratories have been established in recent years. However, these laboratories are often located far from agricultural production units, and there is a notable lack of awareness about the service offerings among producers. As a result, soil management is often done empirically. It is essential for producers to have a good understanding of their farm's soil, as investing in the land is crucial for field production. Currently, some field methodologies are gaining popularity to evaluate the soil. For example, estimating soil texture through particle sedimentation in a transparent container. The pit method in the field is also used to calculate apparent density and estimate other properties that indicate water movement and root penetration. Describing the soil profile in its different horizons provides valuable information about its quality, revealing key physical, chemical, and biological characteristics. Additionally, field equipment such as the potentiometer for measuring pH is useful for predicting the dynamics of nutrients that can be utilized by plants. Considering the importance of soil fertility studies in laboratory settings, it is crucial to combine them with these field methodologies to obtain reliable and accurate recommendations on fertility.

Keywords: agriculture, analysis, fertility, production, soil.

Introducción

El suelo es un organismo vivo en el que las raíces de las plantas interactúan al profundizar en sus distintos horizontes, tomando aquellos minerales indispensables para su desarrollo, y segregando a la vez diferentes sustancias que favorecen la dinámica microbiana alrededor de las raíces. Los análisis de fertilidad de suelos son indispensables para una buena gestión agrícola. Sin embargo, en ocasiones, dichos laboratorios, quedan retirados de las unidades de producción, y también existe desconocimiento por parte de los agricultores sobre la oferta de servicios. Esto trae como consecuencia, el manejo de los suelos de una forma que pudiéramos señalar en la mayoría de los casos como tradicional. Es por esta razón, que los productores deben conocer bien el suelo donde siembran, sin olvidar que para producir en el campo hay que invertir en la tierra [1], [2].

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes minerales de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla; y es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades [3]. Las metodologías de análisis

de suelo utilizadas en el país establecen para un análisis granulométrico el método de Bouyoucos. Sin embargo, los productores pueden utilizar metodologías en campo que den una idea de la clase de textural de sus suelos. El análisis de fertilidad generalmente contempla: carbono orgánico, pH y conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo y potasio [4]. La descripción de perfiles de suelos en campo puede generar suficiente información para la toma de decisiones; y la comparación con los datos del laboratorio permite la evaluación de que tan eficiente puede ser estas metodologías.

Enfoque agroecológico y sostenibilidad

En el contexto actual de crisis climática y necesidad de prácticas agrícolas sostenibles, cobra importancia el desarrollo de metodologías accesibles que permitan al agricultor evaluar la salud del suelo sin depender únicamente de laboratorios especializados. La agroecología origina un manejo integrado del suelo, donde el conocimiento empírico y las técnicas participativas son determinantes para la toma de decisiones informadas que reduzcan la dependencia de insumos externos.

La agroecología plantea una visión integral del sistema agrícola donde el suelo es considerado un soporte físico para los cultivos y un ecosistema vivo que debe ser gestionado con principios ecológicos. Desde esta perspectiva, el análisis y monitoreo del suelo se convierten en herramientas fundamentales para garantizar una producción agrícola sostenible y resiliente. Las metodologías de campo descritas en este trabajo, como el método para determinar la textura en cualquier envase transparente, la descripción visual de perfiles, y la prueba de efervescencia con vinagre o ácido clorhídrico, HCl al 10%, se alinean con el enfoque agroecológico al ser técnicas de bajo costo, fáciles de aplicar y que no requieren equipamiento especializado. Esto favorece su adopción por parte de pequeños y medianos agricultores, quienes muchas veces no tienen acceso regular a laboratorios especializados. Además, estos métodos fomentan una conexión más directa entre el productor y su entorno, al estimular la observación y el análisis participativo del suelo. La sostenibilidad agrícola se refuerza, por tanto, cuando el conocimiento técnico se adapta a las realidades del territorio y se transmite de manera accesible, empoderando al agricultor como agente clave en la conservación de los recursos naturales.

El desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles depende en gran medida del conocimiento profundo del suelo y de su dinámica en cada contexto productivo. En la agroecología, esta comprensión se construye desde la experiencia local, el diálogo de saberes y la observación directa. Las técnicas de evaluación in situ presentadas permiten diagnosticar propiedades claves del suelo como la textura, estructura, color y pH, sin recurrir a tecnologías sofisticadas. Estas características facilitan una toma de decisiones más inmediata en campo, al tiempo que fortalece la soberanía tecnológica del agricultor. Al reducir la dependencia

de insumos externos y promover un manejo adaptado a las condiciones específicas de cada finca, se minimiza el impacto ambiental y se favorece una producción más eficiente en términos ecológicos y económicos. Además, el uso consciente de los recursos naturales apoyado en diagnósticos rápidos y confiables contribuye a mitigar la degradación de los suelos, lo que favorece prácticas regenerativas como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la conservación de la biodiversidad edáfica.

En contextos de transición hacia modelos agrícolas sostenibles, como ocurre actualmente en muchas regiones de América Latina, el acceso a herramientas de evaluación rápida del suelo cobra especial importancia. Las técnicas estudiadas permiten establecer un diagnóstico preliminar útil para planificar el manejo de fertilidad, el uso eficiente del agua y la selección de especies adecuadas al entorno edáfico. En escenarios de agricultura familiar, periurbana o de subsistencia, donde la sostenibilidad es tanto una necesidad ambiental como una estrategia de sobrevivencia, estas metodologías se transforman en instrumentos clave de resiliencia. La integración del enfoque agroecológico con estas técnicas de campo posibilita construir sistemas agrícolas más autónomos, diversificados y resistentes al cambio climático. Al empoderar a los agricultores con herramientas prácticas de monitoreo del suelo, se fomenta un modelo de desarrollo rural inclusivo, donde el conocimiento local se revaloriza y la ciencia se pone al servicio del territorio. Por tanto, promover estas prácticas no es solamente una opción técnica, sino un compromiso ético con la sustentabilidad agroambiental, la equidad social y el derecho a una producción de alimentos sana y soberana.

Democratización del conocimiento técnico

Las metodologías como el método de la textura estimada en campo, el tacto o la prueba con ácido clorhídrico, contribuyen a la democratización del conocimiento técnico. Permiten a los pequeños productores, técnicos y extensionistas, evaluar propiedades claves del suelo sin grandes inversiones, lo cual representa una estrategia de empoderamiento agrícola, especialmente útil en contextos rurales o marginados.

La democratización del conocimiento técnico en el ámbito agrícola implica garantizar que los saberes, metodologías y tecnologías para el manejo adecuado del suelo estén al alcance de todos los actores del sistema productivo, especialmente de aquellos históricamente marginados, como los pequeños productores y agricultores familiares. El acceso desigual a los laboratorios de análisis de suelos, por razones económicas o geográficas, ha generado una brecha significativa en la capacidad de estos productores para tomar decisiones informadas sobre la fertilidad y salud edáfica. Frente a esta realidad, las técnicas de evaluación directa en campo —como el método del hoyo, la prueba con ácido acético o un sencillo análisis visual del perfil del suelo— se convierten en herramientas

poderosas para socializar el conocimiento y hacerlo útil a quienes más lo necesitan. Estas metodologías no requieren formación académica avanzada ni equipos sofisticados, pero sí promueven la comprensión del suelo como un recurso vital que puede ser interpretado y gestionado localmente. Su difusión masiva puede fortalecer procesos de autodiagnóstico rural, desarrollo comunitario y autonomía técnica, contribuyendo así a una agricultura más equitativa y resiliente [5].

Una de las estrategias más efectivas para promover la democratización del conocimiento técnico en agricultura es mediante la educación participativa y el fortalecimiento de capacidades locales. La transferencia de tecnologías de bajo costo y fácil aplicación en campo debe estar acompañada por procesos de formación continua donde los productores, técnicos y estudiantes se conviertan en protagonistas del aprendizaje. En este contexto, talleres prácticos, cursos de campo, guías visuales y materiales didácticos adaptados al lenguaje y nivel educativo de los usuarios, son fundamentales para garantizar una apropiación efectiva del conocimiento. El estudio aquí presentado demuestra que, cuando las técnicas son comprendidas y validadas en la práctica diaria, su impacto es inmediato y positivo: los agricultores pueden observar, medir, interpretar y actuar sobre su suelo con mayor confianza. Así, se supera la dependencia del conocimiento externo y se construyen capacidades territoriales que enriquecen los procesos de innovación agroecológica. La democratización del conocimiento no se trata solo de difundir información, sino de generar condiciones para que los saberes científicos dialoguen con la experiencia campesina y se traduzcan en acciones concretas para mejorar la producción y el cuidado del ambiente [6].

En la actualidad, las plataformas digitales, redes sociales y tecnologías móviles ofrecen una oportunidad sin precedentes para ampliar el acceso al conocimiento técnico en temas de suelo y fertilidad. La circulación de videos educativos, infografías, aplicaciones móviles y contenidos interactivos sobre análisis de suelos han permitido que miles de productores rurales, incluso en zonas aisladas, puedan aprender y aplicar técnicas que antes estaban restringidas al ámbito académico o institucional. Sin embargo, esta digitalización debe ser acompañada por un enfoque inclusivo, que garantice conectividad, accesibilidad y contenidos adaptados a contextos culturales diversos. En este sentido, las técnicas descritas en este libro —por su sencillez y pertinencia— son ideales para ser compartidas mediante medios alternativos como programas de radio, redes comunitarias o plataformas locales de educación. La verdadera democratización del conocimiento técnico ocurre cuando el productor no solo accede a la información, sino que también puede validarla, adaptarla y transmitirla a otros. Este proceso de apropiación social del conocimiento es clave para transformar las prácticas agrícolas, mejorar los rendimientos y avanzar hacia sistemas productivos más sostenibles y justos [7].

Aplicación en agricultura urbana y periurbana

La creciente expansión de la agricultura urbana y periurbana también demanda herramientas simples, confiables y de bajo costo para el diagnóstico de suelos. Estos entornos, que muchas veces carecen de infraestructura agrícola formal, pueden beneficiarse enormemente de las técnicas evaluadas en este estudio como parte de programas de formación comunitaria y extensión rural.

La agricultura urbana y periurbana, AUP, ha emergido como una estrategia clave para mejorar la seguridad alimentaria, promover la sostenibilidad ambiental y fortalecer la resiliencia de las ciudades frente al cambio climático [8]. En este contexto, la implementación de técnicas sencillas y accesibles para el análisis de suelos en campo se vuelve esencial. Métodos como la prueba de textura mediante el método del tacto, la evaluación visual del color del suelo y la prueba de efervescencia con ácido clorhídrico permiten a los agricultores urbanos y periurbanos obtener información valiosa sobre las características de sus suelos sin necesidad de equipos sofisticados. Estas técnicas facilitan la toma de decisiones informadas respecto al manejo del suelo, selección de cultivos y prácticas de fertilización, contribuyendo así a una producción agrícola más eficiente y sostenible en entornos urbanos. Además, al empoderar a los agourbanos con conocimientos prácticos y herramientas de bajo costo, se fomenta la participación de la comunidad en la gestión de los recursos naturales y se promueve una mayor conciencia ambiental en las ciudades [9].

La integración de técnicas de análisis de suelos en campo en la agricultura urbana y periurbana no solo mejora la productividad de los cultivos, sino que también contribuye a la rehabilitación de suelos degradados en áreas urbanas. La implementación de prácticas como el compostaje de residuos orgánicos y la utilización de abonos orgánicos mejora la estructura y fertilidad del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes [10]. Estas prácticas, combinadas con técnicas de análisis de suelos, permiten a los agricultores urbanos monitorear y mejorar la salud del suelo de manera continua. Además, la agricultura urbana promueve el reciclaje de residuos, la reducción de la huella de carbono y la creación de espacios verdes en las ciudades, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire y la biodiversidad urbana. Al fomentar la producción local de alimentos frescos y saludables, la agricultura urbana y periurbana fortalece la seguridad alimentaria y la cohesión social en las comunidades urbanas [11].

La adopción de técnicas de análisis de suelos en campo en la agricultura urbana y periurbana también tiene un impacto significativo en la educación y la concienciación ambiental de las comunidades urbanas. Programas de capacitación y talleres prácticos sobre el manejo sostenible del suelo y la producción agrícola urbana han demostrado ser efectivos para

involucrar a ciudadanos de todas las edades en prácticas agrícolas responsables [12]. Estas iniciativas fomentan el aprendizaje activo y la participación comunitaria, fortaleciendo el sentido de pertenencia y responsabilidad hacia el entorno urbano. Además, al integrar la agricultura en el tejido urbano, se crean oportunidades para la educación ambiental en escuelas, centros comunitarios y espacios públicos, promoviendo estilos de vida más sostenibles y saludables. La agricultura urbana y periurbana, apoyada por técnicas de análisis de suelos accesibles, se convierte así en una herramienta poderosa para transformar las ciudades en espacios más verdes, resilientes y equitativos [13].

Por otro lado, se están haciendo populares en las redes sociales, algunas metodologías que los productores pueden utilizar en campo. Por ejemplo, la textura estimada en campo, y el método del hoyo para calcular la densidad aparente. Igualmente, se pueden apoyar en la descripción visual de un perfil de suelo en sus diferentes horizontes, describiendo aquellas características físicas, químicas y biológicas, que ayudan a inferir la calidad del suelo. Una de las propiedades más diferenciadoras del suelo es su color. El potencial de hidrógeno, pH determinado en campo y laboratorio, proporcionan también buena información y ayudan a estimar otros parámetros importantes. La presencia de carbonato de calcio, CaCO_3 , se evidencia a través de la adición al suelo de gotas de ácido clorhídrico, HCl, al 10 % [14].

El estudio de descripción de suelos se llevó a cabo en los espacios productivos de la Unidad Territorial FUNDACITE Aragua. Para garantizar la precisión, el análisis de fertilidad realizado en laboratorio se comparó con la descripción de perfiles de suelo en campo, obtenida mediante mediciones directas in situ. Este proceso se basa en el conocimiento especializado del técnico en campo, quien, junto con los resultados del laboratorio, proporciona información valiosa para optimizar la fertilidad del suelo.

Metodología

El potencial de hidrógeno, pH y conductividad eléctrica, CE, se midieron en laboratorio a través de una lectura directa en una suspensión de suelo-agua de relación 1:2 y 1:2,5, respectivamente. En campo se utilizó, el equipo pH Rapitets, que consta de sondas metálicas que se extienden desde el medidor. Estas sondas se insertan directamente en el suelo.

Textura del suelo

La metodología de análisis de suelo utilizada para análisis granulométrico fue el método Bouyoucos, basado en el proceso de sedimentación de partículas [4].

Método de textura en campo

Para realizar la clasificación granulométrica, se siguió el procedimiento siguiente: se colocó 10 cm de suelo en una botella plástica, completando con agua hasta un volumen total de 1 litro. Luego, se agitó por 2 minutos y se dejó reposar durante 24 horas. Después del reposo, se observó que la sedimentación de las partículas ocurrió en la siguiente orden: la grava se depositó en el fondo, seguida de la arena, el limo y finalmente la arcilla. A continuación, mediante cálculos aritméticos simples, se determinó el porcentaje de cada fracción en cada muestra. Estos cálculos proporcionaron una visión de la composición granulométrica del suelo.

Método de la cinta

Se tomó una pequeña porción de suelo, humedeciéndola y friccionándola entre los dedos pulgar e índice, formando una cinta para así determinar la textura rápidamente.

Análisis de fertilidad de suelo

Para la determinación de carbono orgánico, se utilizó el método por oxidación de Walkley Black. Nitrógeno total, titulación de Kjeldhal. Fósforo y potasio, por colorimetría, en una solución extractora Olsen [15].

Densidad aparente

La densidad aparente, DA, se realizó con el método de excavación y determinación del volumen obtenido, abriendo un hoyo de 30 cm de ancho por 30 cm de largo y 20 cm de profundidad. La metodología original establece la toma de una submuestra para determinar su porcentaje de humedad en laboratorio (suelo seco en horno), a fin de expresar el peso del suelo, seco [16], [17].

Descripción de un perfil de suelo

La caracterización de los suelos se realizó utilizando un instrumento de recolección de datos (planilla de descripción) en los suelos muestreados a diferentes profundidades, separando los horizontes de acuerdo con su color, textura o estructura [18]. Cuando se habla de color del suelo se hace referencia a las distintas capas que se encuentran una vez abierta una calicata para su estudio. Se utilizó el sistema Munsell para la determinación del color, y estimación de otras características.

Prueba con HCl al 10 %

El grado de efervescencia en el suelo del gas de dióxido de carbono es indicativo de la cantidad de carbonato de calcio presente en el suelo.

Resultados y discusión

El estudio se realizó en los espacios productivos de la Unidad Territorial FUNDACITE Aragua, que cuenta con un área de 2.180,75 m²; para la descripción de estos suelos se tomaron dos puntos: SUELO 1, bajo cobertura vegetal (malezas); y SUELO 2, bajo cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). El análisis de laboratorio se realizó en las muestras de suelo tomadas en los dos primeros horizontes (SUELO 1 y SUELO 2) en cada perfil (Figura 1 y 2).



Figura 1a y b: Evaluación de la clase textural para el perfil del SUELO 1.



Figura 2a y b: Evaluación de la clase textural para el perfil del SUELO 2.

A partir del método del hoyo en campo, se determinó la densidad aparente en húmedo calculándose un valor de 1,86 y 1,93 g/cm³, respectivamente. El área seleccionada para esta prueba se caracteriza por un alto tráfico peatonal, lo que explica los valores elevados obtenidos. Sin embargo, es importante aclarar que estos valores no están expresados en peso seco.

El SUELO 1 posee buena profundidad, que permite a las raíces explorar y por consiguiente una mayor absorción de agua y nutrientes. La textura por tacto resultó de la clase textural francoarenoso (Fa) en los dos primeros perfiles (Tabla 1). Bastante aceptable para la agricultura por lo equilibrado de sus componentes arena, limo y arcilla, de buena aireación, porosidad y estructura, e infiltración, que impide, el aguachinamiento y la aparición de hongos patógenos que causarían la pudrición de las raíces (por esta razón, la ausencia de moteados) (Tabla 1) (Figuras 1a y 2a). Es un suelo que presenta cierta plasticidad y adhesividad, que le confiere resistencia a la ruptura y pérdida de su estructura debido a las fuerzas de cohesión y adhesión, evitando su disgregación. Su friabilidad indica buena condición para el laboreo, no pulverizándose fácilmente y así evita la compactación.

Al aplicar ácido acético (vinagre) en los distintos horizontes del suelo, no se evidenció burbujeo o efervescencia, que indicaría un suelo con tendencia de ácido a neutro. Sin embargo, al utilizar HCl al 10 % se presentó efervescencia. El SUELO 2 es de características similares al suelo anterior. No se presentó burbujeo o efervescencia en los distintos horizontes al agregar vinagre. Sin embargo, al utilizar HCl al 10 % se tuvo efervescencia. Se presume que la baja calidad del vinagre utilizado no permitió una respuesta adecuada en esta prueba.

Tabla 1. Descripción en campo de las características en muestras de suelos del reconocimiento realizado en la Unidad Técnico Territorial (FUNDACITE Aragua), ubicada en el Municipio Girardot del estado Aragua.

Suelo	Prof. (cm)	Textura	Color	Estructura	Consistencia			Moteados	Partícula arcilla	Actividad biológica	Reacción al HCl	Raíces
					Mojado	Húmedo	Seco					
1	0-15	Fa	2,5YR4/4 (pardo rojizo apagado)	Moderada, Mediana, blocosa angular	Adhesivo, plástica	Friable	Suelta	Ninguna	Ninguna	Baja	Moderada	Finas, pocas
	15-30	Fa	2,5YR3/2 (rojo opaco)	Moderada, Mediana, blocosa angular	Adhesivo, plástica	Friable	Suelta	Ninguna	Ninguna	Baja	Moderada	Finas, pocas
2	0-15	Fa	2,5YR4/4 (pardo rojizo apagado)	Débil, Mediana, blocosa angular	Adhesivo, débilmente plástica	Friable	Suelta	Ninguna	Ninguna	Baja	Moderada	Moderado, pocas
	15-20	Fa	2,5YR3/2	Débil, Mediana, blocosa angular	Adhesivo, débilmente plástica	Friable	Suelta	Ninguna	Ninguna	Baja	Moderada	Moderado, pocas

Fa = Franco arenoso.

Prof. = Profundidad.

Tabla 2. Análisis de fertilidad y otros datos importantes en muestras de suelos del reconocimiento realizado en la Unidad Técnico Territorial (FUNDACITE Aragua), ubicada en el Municipio Girardot del estado Aragua.

Suelo	Profundidad (cm)	Textura	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	pH (1:2)	pH (celda)	CE (dS/m)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	N (%p/p)	MO (%p/p)	Observaciones
1	0-15	Fa	65	12,5	22,5	8,1	8	0,181	5	190	0,117	2,1	Raíces Finas, pocas
	15-30	Fa	67	12,5	20,5	8,13	-	0,23	3	189	0,129	2,93	
2	0-15	Fa	81,75	6	12,25	7,77	7,8	0,101	10	318	0,135	1,83	Raíces Moderado, pocas
	15-20	FAa	50	32,5	17,5	7,96	-	0,126	7	275	0,115	3,09	

CE: Conductividad eléctrica (1:2). MO: Materia orgánica. Fa: francoarenoso. FAa: 50 %, 32,5 % y 17,5 %, para arena, limo y arcilla, respectivamente.

Análisis comparativo de las técnicas aplicables en campo y su confiabilidad con los resultados de laboratorio

En campo, se observó que los datos recolectados para la clase textural fueron similares en ambas muestras con un predominio de un suelo francoarenoso (Fa). Comparando, los resultados en campo con el análisis de fertilidad del laboratorio, podemos estimar la confiabilidad de los primeros y de esta manera plantear que tan eficiente es la información; por ejemplo, se obtuvieron valores muy semejantes en la medición del pH en campo y la medición en laboratorio (Tabla 2). Los resultados observados siempre presentaron un suelo con una tendencia marcada hacia una ligera alcalinidad, en todas las profundidades.

Con el método de textura en campo (utilizado únicamente en el perfil superior del SUELO 2), se apreció un resultado diferente en comparación con Bouyoucos de laboratorio: 50, 32,5 y 17,5 %, para arena, limo y arcilla, respectivamente (FAa). Esta prueba no coincidió con los resultados de laboratorio.

Con respecto a los valores de pH, con el instrumento analógico Rapitest, se midieron valores de 8,0 y 7,8 para SUELO 1 y 2, en los primeros horizontes, respectivamente; en comparación, con los valores obtenidos en laboratorio que corresponden a 8,1 y 8,13 (Tabla 1), obteniéndose un pH moderadamente alcalino. Otra de las propiedades evaluadas fue la materia orgánica, que también se verificó con cierta relación en los resultados obtenidos en laboratorio, donde se detectó un contenido adecuado de materia orgánica, que tiene cierta repercusión en la coloración de los suelos, y las propiedades físicas, químicas y biológicas.

El color del suelo es una propiedad que permite identificarlo y evaluarlo y deducir la naturaleza de sus posibles componentes. El término “suelo pardo rojizo apagado” (2,5YR4/4) se refiere a un tipo de suelo con un color específico en el sistema Munsell, de color “marrón rojizo apagado”, que puede tener buena cantidad de materia orgánica. El suelo “rojo opaco” (2,5YR3/2) indica una alta concentración de hierro, con suelos que suelen tener buen drenaje, lo que puede ser beneficioso para ciertos cultivos.

Conclusiones

Los suelos muestreados en FUNDACITE Aragua exhibieron características similares en cuanto a sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La incorporación continua de materia orgánica ha mejorado significativamente sus cualidades, favoreciendo atributos clave en estos aspectos.

El análisis de fertilidad en laboratorio es importante para alcanzar una producción óptima

y conservación efectiva de los suelos. Sin embargo, la descripción del suelo en campo constituye una herramienta fundamental para el pequeño productor, proporcionando información valiosa que permite diagnosticar variables agrícolas de interés.

La experiencia del evaluador juega un papel vital en este proceso. Los métodos tradicionales de evaluación en campo pueden arrojar información inexacta, lo que puede derivar en recomendaciones de fertilidad inadecuadas. Por otro lado, los análisis laboratoriales siguen siendo la estrategia más confiable para el diagnóstico preciso de suelos agrícolas.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su gratitud a FUNDACITE Aragua por el apoyo logístico brindado para la realización del curso ‘La Fertilidad del suelo’, que dio lugar a este trabajo. También agradecen al Laboratorio Navas Química en Maracay por los análisis realizados en las muestras de suelos. Además, los autores agradecen a todos los participantes del curso por permitir las 48 horas de dinámica académica intensa y enriquecedora.

Declaración de disponibilidad de datos

El autor de correspondencia puede suministrar los registros experimentales obtenidos a toda persona interesada; escribir un correo electrónico con razones justificadas.

Conflicto de interés

El autor declara que no existe conflicto de interés alguno en la realización y difusión de los resultados de este trabajo.

Referencias

- [1] R. H. Yadav, “Soil-plant-microbial interactions for soil fertility management and sustainable agriculture,” in *Microbes in Land Use Change Management*, Elsevier, 2021, pp. 341–362. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824448-7.00019-X>.
- [2] J. K. Schjoerring, I. Cakmak, and P. J. White, “Plant nutrition and soil fertility: synergies for acquiring global green growth and sustainable development,” *Plant Soil*, vol. 434, no. 1–2, pp. 1–6, Jan. 2019, doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-03898-7>.
- [3] FAO, “Propiedades Físicas del Suelo.” Accessed: Dec. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.

- [4] I. López, N. Alfonso, N. Gómez, M. Navas, and P. Yañez, Manual de alternativas de recomendaciones de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela, Serie B, 1. Maracay: INIA, 2008. [Online]. Available: http://www.sian.inia.gob.ve/pdfpnp/Manual_fertilizantes.pdf.
- [5] A. Ogunyiola, M. Gardezi, and S. Vij, “Smallholder farmers’ engagement with climate smart agriculture in Africa: role of local knowledge and upscaling,” *Clim. Policy*, vol. 22, no. 4, pp. 411–426, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.2023451>.
- [6] M. M. Kansanga, R. Bezner Kerr, E. Lupafya, L. Dakishoni, and I. Luginaah, “Does participatory farmer-to-farmer training improve the adoption of sustainable land management practices?,” *Land use policy*, vol. 108, p. 105477, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105477>.
- [7] S. Hackfort, “Patterns of Inequalities in Digital Agriculture: A Systematic Literature Review,” *Sustainability*, vol. 13, no. 22, p. 12345, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su132212345>.
- [8] J. Langemeyer, C. Madrid-Lopez, A. Mendoza Beltran, and G. Villalba Mendez, “Urban agriculture — A necessary pathway towards urban resilience and global sustainability?,” *Landsc. Urban Plan.*, vol. 210, p. 104055, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104055>.
- [9] H. Zhang, J. Zhang, and J. Song, “Analysis of the threshold effect of agricultural industrial agglomeration and industrial structure upgrading on sustainable agricultural development in China,” *J. Clean. Prod.*, vol. 341, p. 130818, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130818>.
- [10] Z. Malone, A. A. Berhe, and R. Ryals, “Impacts of organic matter amendments on urban soil carbon and soil quality: A meta-analysis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 419, p. 138148, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138148>.
- [11] M. J. Salomon and T. R. Cavagnaro, “Healthy soils: The backbone of productive, safe and sustainable urban agriculture,” *J. Clean. Prod.*, vol. 341, p. 130808, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130808>.
- [12] R. T. Ilieva et al., “The Socio-Cultural Benefits of Urban Agriculture: A Review of the Literature,” *Land*, vol. 11, no. 5, p. 622, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/land11050622>.
- [13] M. Horst, N. McClintock, and L. Hoey, “The Intersection of Planning, Urban

- Agriculture, and Food Justice: A Review of the Literature,” 2024, pp. 89–120. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-03132076-7_6.
- [14] J. Pant, M. C. Joshi, D. Singh, H. K. Pant, A. Bhatt, and D. Pant, “An Investigation into Ensemble Learning Techniques for Evaluating Soil Fertility through Analytical Approaches,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 235, pp. 1998–2008, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.189>.
- [15] J. Gilabert, I. Arrieche, M. Rodríguez, and I. López, *Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*. Maracay: INIA, 2015. [Online]. Available: <http://www.sian.inia.gob.ve/pdfpnp/Manual analisis de suelos.pdf>.
- [16] R. Xu and T. Huang, “Comparison of the Use of Excavated Soil Recycled Fine Aggregate as a Substitute for River Sand in Mortar Mixing,” *Buildings*, vol. 14, no. 7, p. 1917, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/buildings14071917>.
- [17] S. G. Eng Giap and M. F. Ahmad, “Factors Affecting Soil Bulk Density: A Conceptual Model,” *J. Soil, Environ. Agroecol.*, vol. 1, no. 1, pp. 27–45, May 2024, doi: <https://doi.org/10.37934/sea.1.1.2745>.
- [18] B. C. Ball, T. Batey, and L. J. Munkholm, “Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test,” *Soil Use Manag.*, vol. 23, no. 4, pp. 329–337, Dec. 2007, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00102.x>.

Raúl Jesús Jiménez Solórzano, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA. Aragua. Venezuela. Escuela Socialista de Agricultura Tropical. Aragua. Venezuela.

Raúl Jesús Jiménez Solórzano, Ph.D., is affiliated with both the Socialist School of Tropical Agriculture (ESAT) and the National Institute of Agricultural Research (INIA). He also collaborates with UnAgroUrbano, a group that promotes sustainable agricultural and urban practices. Throughout his career, Jiménez Solórzano has distinguished himself as a researcher in soil science, focusing on field methods for the characterization and sustainable management of agricultural soils. His achievements include contributions to the training of farmers in sustainable practices and the publication of academic works. Furthermore, he stands out for his commitment to scientific outreach in areas related to soil management as a key resource for environmental sustainability and food security.

Raúl Jesús Jiménez Solórzano, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA. Aragua. Venezuela. Escuela Socialista de Agricultura Tropical. Aragua. Venezuela.

Raúl Jesús Jiménez Solórzano Ph.D. está afiliado tanto a la Escuela Socialista de Agricultura Tropical, ESAT, como al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA. También colabora con UnAgroUrbano, un grupo que promueve prácticas agrícolas y urbanas sostenibles. A lo largo de su carrera, Jiménez

Solórzano se ha destacado como investigador en ciencia del suelo, centrándose en métodos de campo para la caracterización y gestión sostenible de los suelos agrícolas. Entre sus logros se incluyen contribuciones a la formación de agricultores en prácticas sostenibles y la publicación de trabajos académicos. Además, se destaca por su compromiso con la divulgación científica, en ámbitos de gestión del suelo como un recurso determinante para la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria.

Estudio comparativo del efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento y productividad del cultivo de Ají (*Capsicum annuum*)

Comparative study of the effect of organic and inorganic fertilization on the growth and productivity of the Chili pepper crop (*Capsicum annuum*)

Anais Fabiola Fagúndez Benaventa¹ ; Minerva Márquez² ; Henry Baloy Porras³ ;
Carlos Humberto Aguas Changoluisa⁴ ; Arnaldo José Armado Matute*⁵ 

¹Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. anais17fagundez@hotmail.com

²Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. rromero@ueb.edu.ec

³Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez, UPTMKR. Mérida, Venezuela. porrasbaloy@gmail.com

⁴Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico "Alpachaca" Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador. <https://ror.org/005cgg117>. caguas@ueb.edu.ec

⁵Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. aarmado@uc.edu.ve

*Autor para correspondencia: aarmado@uc.edu.ve

DOI: <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.2>

Resumen

Los fertilizantes están hechos de materiales orgánicos o inorgánicos que se agregan a los sistemas de cultivo para suministrar uno o más nutrientes esenciales. Los fertilizantes inorgánicos pueden favorecer un desarrollo óptimo de las plantas al proporcionar nutrientes de rápida disponibilidad, mientras que los fertilizantes orgánicos son una alternativa sostenible que mejora la producción agrícola preservando la calidad del suelo, además de ser más accesibles para los pequeños productores. El presente estudio tuvo como objetivo comparar el efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y mixta sobre el crecimiento y la productividad del cultivo de ají (*Capsicum annuum*), en suelos del estado Carabobo, Venezuela. El diseño experimental consistió en un esquema de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos: control (T0, Bocashi), orgánico (T1, ácidos húmicos), inorgánico (T2, formulaciones NPK) y mezcla 1:1 de orgánico e inorgánico (T3). Las variables evaluadas incluyeron propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de parámetros biométricos del cultivo y productividad. Los resultados indicaron que todos los tratamientos mejoraron significativamente las condiciones del suelo respecto al estado inicial. El tratamiento T3 fue el más eficaz en incrementar la materia orgánica, la capacidad de retención de humedad y la capacidad de intercambio catiónico, promoviendo

Citación sugerida: Fagúndez A.; Márquez M.; Baloy H.; Aguas C. y Armado A. (2025). Estudio comparativo del efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento y productividad del cultivo de Ají (*Capsicum Annuum*). En *Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos* (pp. 31–63). Colección seriada: *Glebe*, 1(1). <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.2>.



además un mayor crecimiento en altura y diámetro del tallo, y un mayor número de frutos por planta. T0 y T1 destacaron en el aumento de la respiración basal del suelo, reflejo de mayor actividad microbiana. En términos de productividad, T0 alcanzó el valor más alto (1,53 kg/ha), seguido de T3 (1,46 kg/ha), mientras que T1 presentó la menor productividad (1,09 kg/ha). Se concluye que la combinación de fertilización orgánica e inorgánica optimiza la disponibilidad de nutrientes y mejora las condiciones edáficas y de cultivo, lo que contribuye a una agricultura más eficiente y sostenible.

Palabras clave: agricultura; fertilizantes; fertilidad del suelo; hortalizas; suelos.

Abstract

Fertilizers are made from organic or inorganic materials added to cropping systems to supply one or more essential nutrients. Inorganic fertilizers promote optimal plant development by providing nutrients in readily available forms, while organo-mineral fertilizers offer a sustainable alternative to enhance agricultural productivity by preserving soil quality and being accessible to smallholders. This study aimed to compare the effects of organic, inorganic, and mixed fertilization on the growth and productivity of the chili pepper crop (*Capsicum annuum*) in soils from Carabobo State, Venezuela. A completely randomized block design was used with four treatments: control (T0, Bocashi), organic (T1, humic acids), inorganic (T2, NPK formulations), and a 1:1 mixture of organic and inorganic fertilizers (T3). The evaluated variables included physical, chemical, and biological soil properties, biometric parameters of the crop, and productivity. Results showed that all treatments significantly improved soil conditions compared to the initial state. Treatment T3 was the most effective in increasing organic matter content, moisture retention capacity, and cation exchange capacity, also promoting greater plant height and stem diameter, as well as a higher number of fruits per plant. T0 and T1 stood out in increasing soil basal respiration, indicating higher microbial activity. In terms of productivity, T0 showed the highest value (1.53 kg/ha), followed by T3 (1.46 kg/ha), while T1 had the lowest productivity (1.09 kg/ha). It is concluded that the combination of organic and inorganic fertilization optimizes nutrient availability and improves both soil and crop growth conditions, contributing to more sustainable and efficient agricultural practices.

Keywords: agriculture; fertilizers; soil fertility; vegetables; soils.

Introducción

El género *Capsicum* de la familia (*Solanaceae*) es originario del continente americano y comprende alrededor de 30 especies, de las cuales siete son cultivadas; entre éstas se encuentra *Capsicum annuum* [1], conocido también como ají dulce [2].

Los frutos de *C. annuum*, así como los de otras especies de *Capsicum*, son una buena fuente de fitoquímicos, tales como fenoles, flavonoides y capsaicinoides. Estos compuestos son potentes antioxidantes y juegan un rol importante en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer y desórdenes neurológicos [3].

El crecimiento y rendimiento de un cultivo depende de los factores inherentes al ecosistema en el cual las plantas crecen. Además del factor suelo, existen los relacionados con la planta y el clima, constituyendo así el llamado sistema suelo-planta-clima. En muchas ocasiones los agricultores manejan los dos primeros, ya que la fase clima es más independiente. Dentro de este sistema, la fertilidad del suelo es considerada un factor de crecimiento y es definida como el potencial que tiene un suelo para suplir los elementos nutritivos en las formas, cantidades y proporciones requeridas para lograr un buen crecimiento y rendimiento de las plantas; cuando la disponibilidad de nutrimentos en el suelo para las plantas no es suficiente, ésta puede ser aumentada al añadir fertilizantes al suelo, los cuales poseen uno o más elementos esenciales para el crecimiento y rendimiento de las plantas [4].

Los fertilizantes están hechos de materiales orgánicos o inorgánicos producidos a partir de orígenes naturales o sintéticos que se agregan a los sistemas de la planta con el fin de suministrar uno o más nutrientes necesarios para el crecimiento saludable de las plantas. Los fertilizantes producidos a partir de materiales orgánicos contienen carbono y uno o más de los nutrientes esenciales de la planta, nitrógeno, fósforo y potasio. El abono orgánico más común es el abono animal, el compost, el lodo de alcantarillado y los subproductos de animales procesados y vegetales [5].

Por otro lado, el Bocashi es un abono orgánico fermentado originario de Japón, cuyo nombre significa “materia orgánica fermentada”. Se obtiene mediante la descomposición controlada de materiales orgánicos como estiércol, residuos vegetales, cascarilla de arroz, melaza y levaduras, en un proceso que puede ser aeróbico o anaeróbico, dependiendo de la receta utilizada. Este proceso de fermentación acelera la descomposición de la materia orgánica, lo que permite obtener el abono listo para su uso en un período relativamente corto, entre 12 y 21 días [6].

El uso del Bocashi en la agricultura ofrece múltiples ventajas: mejora la fertilidad del suelo al aportar nutrientes esenciales como N, P y K; aumenta la actividad microbiana beneficiosa, lo que favorece la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes; mejora la estructura del suelo, puesto que aumenta la capacidad de retención de agua y aireación; y reduce la dependencia de fertilizantes químicos [7]. Sin embargo, también presenta algunas limitaciones. La preparación del Bocashi requiere una gestión cuidadosa del proceso de fermentación, como el control de la temperatura, humedad y

aireación, lo que puede ser laborioso. Además, su eficacia puede variar dependiendo de la calidad y proporción de los materiales utilizados, así como de las condiciones ambientales durante su elaboración [8].

En este contexto, mejorar y mantener la fertilidad del suelo es tema central en la agricultura, para el agricultor orgánico alimentar el cultivo significa alimentar el suelo. Sólo un suelo fértil puede producir cultivos saludables y ese es el recurso más importante de cada granja, por consiguiente, es de suma importancia para agricultores desarrollar una comprensión integral de los diversos factores que influyen la fertilidad del suelo [9].

De esta manera, este trabajo se enfocó en hacer un estudio comparativo del efecto de fertilización orgánica mineral e inorgánica sobre el crecimiento y productividad del cultivo de Ají (*Capsicum annum*), evaluando así, las ventajas e inconvenientes que tienen estos productos al ser suministrado al suelo donde se va a cultivar.

Metodología

Selección del suelo

Se trabajó en un terreno ubicado en el estado Carabobo, municipio Naguanagua, cerca de la escuela Popular Agroecológica Ezequiel Zamora, las coordenadas geográficas fueron: 10° 16' 22,7" de latitud (N) y 68° 00' 49,5" de longitud (W). Se trabajó en un terreno que cuenta con un área de 225,60 m² (24 m x 9,40 m) aprox. El área de este terreno se dividió en 8 hileras, cada hilera constó de 37 plantas de Ají, el cual hizo un total de 296 plantas. La distancia de la siembra entre surcos fue de 1,5 m aproximadamente y entre plantas 0,70 m.

Inicialmente se tomó una muestra para visualizar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, la segunda toma se hizo después de aplicar la fertilización con los diferentes productos. Se tomaron 3 submuestras de 30 cm de profundidad, caminando aproximadamente 25 a 30 metros en líneas cruzadas desde un punto del terreno. Posteriormente, se mezclaron las submuestras en un recipiente limpio y se realizó un cuarteo, para así obtener finalmente una muestra compuesta representativa [10].

Para la extracción de cada submuestra se eliminó la cobertura vegetal u hojarasca de cada punto elegido evitando eliminar la capa superficial de suelo. A esta muestra se le determinaron las propiedades fisicoquímicas: textura, capacidad de retención de humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, nitrógeno amoniacal y fósforo disponible.

La segunda muestra se tomó una vez realizada la aplicación de los fertilizantes. Para

obtener una muestra representativa, se sacrificó 5 plantas por hileras y las submuestras se tomaron de los hoyos que dejó cada planta. Luego estas submuestras se mezclaron para obtener la muestra final la cual fue llevada al laboratorio para su posterior análisis.

Los análisis de rutina en laboratorio de suelos incluyeron determinación de textura, reacción del suelo (pH), respiración basal, materia orgánica y los macronutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable y conductividad eléctrica en el suelo.

Fertilizantes

El fertilizante orgánico empleado a base de ácidos húmicos (Agro húmicos Plus) fue suministrado por Productos Minerales de Venezuela empresa PROMIVECA, Venezuela. Este producto se conservó a temperatura ambiente en sombra previo a su uso. Los fertilizantes inorgánicos de fórmulas (N=15, P=15, K=15) y (N=10, P=20, K=20) granulados que se usaron en el trabajo fueron suministrados por la empresa Agroinfal C.A, ubicada en Acarigua, estado Portuguesa. Estos productos fueron importados por DiproAgro C.A. Se realizaron en el cultivo cuatro tratamientos al azar por duplicado indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los diferentes tratamientos aplicados en la fertilización del suelo.

Tratamiento	Descripción	Aplicación 1: Siembra	Aplicación 2: Fructificación
T0	Blanco, tratamiento control	Bocashi	Bocashi
T1	Orgánica	Agro húmicos Plus	Agro húmicos Plus
T2	Inorgánica	MPM1	MPM2
T3	Mezcla 1:1	Agro húmicos Plus + MPM1	Agro húmicos Plus + MPM2

MPM1: (N=15, P=15, K=15); MPM2: (N=15, P=15, K=15).



Figura 1. Diseño del terreno donde se realizó la aplicación de los distintos tratamientos (T0, T1, T2, T3) en el cultivo de Ají.

Se realizaron dos aplicaciones de los fertilizantes orgánico e inorgánico. La primera aplicación se hizo una vez ya sembrada las plantas y la segunda aplicación a los (25 - 30) días de la siembra. En la figura 1 se muestra una representación del cultivo.

Los fertilizantes utilizados se aplicaron de forma manual para cada tratamiento, se agregó al suelo el sólido alrededor de cada planta (5 cm de separación de la planta), para el caso del fertilizante orgánico se adicionó (20 g), el fertilizante inorgánico se colocó de la siguiente manera: se abrió un pequeño agujero de profundidad (8 cm aproximadamente) en el suelo cerca de la planta y se inyectó (17 g) del producto por cada punto de siembra, también se realizó una mezcla 1:1 de ambos fertilizantes para añadir a un grupo de plantas.

Resultados y discusión

La discusión se centró en la respuesta de las variables a los diferentes tratamientos aplicados, buscando establecer relaciones causa-efecto y correlaciones entre las variables evaluadas.

Tabla 2. Propiedades químicas de las muestras de suelos bajo cultivo de ají con diferentes tratamientos de fertilización.

Parámetros	Valores iniciales	Tratamientos			
		T0	T1	T2	T3
M.O., %	0,84± 0,07	2,5± 0,2	2,8± 0,5	2,5± 0,5	3,5± 0,4
pH	7,1 ± 0,1	6,6± 0,1	6,1± 0,1	6,6± 0,1	6,0± 0,1
C.E, (dS/m)	0,35± 0,05	0,090± 0,002	0,118± 0,001	0,123± 0,002	0,148± 0,002
C.I.C., (cmol/kg)	8,2± 0,2	10,4± 0,1	15,8± 0,1	14,6± 0,3	15,0± 0,1
[Ca], (cmol/kg)	2,7± 0,1	2,4± 0,2	2,1± 0,2	3,4± 0,2	1,3± 0,1
[Mg], (cmol/kg)	0,8± 0,1	3,9± 0,2	4,1± 0,4	2,596± 0,001	2,86± 0,09
[K], (cmol/kg)	0,37±0,02	0,297±0,008	0,25± 0,02	0,3±0,1	0,265±0,008
[N], mg/kg suelo	45±2	5,7±0,4	5,9±0,6	6,5±0,1	5,9±0,1
[P], mg/kg suelo	20,6±0,4	7,5±0,5	4,9±0,3	14,8±0,9	49±4

M.O.: materia orgánica. pH: potencial de hidrógeno. C.E.: conductividad eléctrica, C.I.C.: capacidad de Intercambio Catiónico. [Ca]: contenido de calcio. [Mg]: contenido de magnesio. [K]: contenido de potasio. [N]: contenido de nitrógeno. [P]: contenido de fósforo. Se reporta el promedio y la desviación estándar para n=3.

A continuación, se presenta el análisis de la influencia de los diferentes tratamientos de fertilización aplicados en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

Propiedades Químicas

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en las propiedades químicas del suelo analizadas: materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, contenido de calcio, contenido de magnesio, contenido de potasio, contenido de nitrógeno y contenido de fósforo.

Materia orgánica, M.O.

Todos los tratamientos con fertilización orgánica mineral e inorgánica y mezclas (T0, T1, T2 y T3) mostraron un aumento considerable en el contenido de materia orgánica en comparación con el suelo inicial. La mezcla de T3 destacó como la más efectiva, seguido por T1. Tanto T0 como T2 no mostraron diferencia significativa ($\alpha = 0,05$). El tratamiento T1 mostró la mayor variabilidad ($\pm 0,5$), lo que podría indicar diferencias en la respuesta del suelo o la heterogeneidad en la aplicación del tratamiento. Se ha reportado que el aumento de la materia orgánica en los suelos tratados es un resultado positivo, ya que este componente juega un papel importante en la fertilidad del suelo [11]. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, aumenta su capacidad de retención de agua y nutrientes, y estimula la actividad biológica [12]. También se ha reportado que cuando señalan que el Bocashi es una excelente opción para enriquecer el suelo y aumentar su contenido de materia orgánica. Estos productos se descomponen lentamente, liberando nutrientes de forma gradual [13].

La prueba de normalidad utilizando el método de Shapiro-Wilk arrojó un valor p mayor que el nivel típico de significancia ($0,344 > 0,05$), concluyendo que los datos siguen una distribución normal, por lo que es apropiado aplicar pruebas estadísticas paramétricas. La prueba paramétrica adecuada fue la igualdad de medias (ANOVA) cuyo valor p fue menor que 0,05 ($p = 3,44 \text{ E-}04$), lo que permite afirmar que existen diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización aplicados en la siembra de ají. Esto implica que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto distinto sobre la materia orgánica en comparación con los demás. Por lo tanto, fue necesario realizar una prueba adicional, en este caso, el análisis de Tukey para determinar exactamente qué tratamientos difieren significativamente entre sí.

Todos los tratamientos (T0, T1, T2, T3) presentan diferencias significativas en comparación con el tratamiento inicial, lo que indica que los tratamientos de fertilización mejoran las condiciones en comparación con la situación inicial. La adición de fertilizantes orgánicos y mezclas de abonos parece mejorar la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, lo que concuerda con estudios previos sobre la importancia de la fertilización orgánica para mejorar la calidad del suelo [14].

El aumento de materia orgánica encontrado en los tratamientos puede atribuirse a la introducción de nutrientes a través de los fertilizantes aplicados. En particular, la aplicación de Bocashi (T0) ha sido reportada como una estrategia efectiva para mejorar la estructura del suelo y aumentar su contenido de materia orgánica [15]. Este abono orgánico es rico en microorganismos que facilitan la descomposición de la materia orgánica, lo que se

traduce en una mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Por otro lado, aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T0, T1 y T2, el tratamiento T3 (mezcla de abonos) mostró una tendencia a generar un mayor incremento en el contenido de materia orgánica, aunque esta diferencia no alcanzó significancia estadística en todas las comparaciones. Esto podría explicarse por la sinergia entre los diferentes componentes del tratamiento T3, que posiblemente combina fuentes de nutrientes y microorganismos en proporciones óptimas, promoviendo una mayor actividad microbiana en el suelo y acelerando el proceso de descomposición de materia orgánica [16]. Sin embargo, la variabilidad en los datos y el tamaño muestral pueden haber influido en la capacidad de detectar una diferencia estadísticamente significativa.

Es importante considerar que las diferencias encontradas entre los tratamientos podrían estar influenciadas por factores como las condiciones iniciales del suelo y la capacidad de los diferentes fertilizantes para liberar nutrientes de manera más eficiente [17]. En el caso de T3, la mezcla de abonos probablemente proporcionó una mayor diversidad de nutrientes y mejoró la estructura del suelo de manera más integral en comparación con los tratamientos individuales, aunque estos efectos no fueron lo suficientemente consistentes en todas las comparaciones para alcanzar una significancia estadística.

Potencial de hidrógeno, pH

La aplicación de los tratamientos de fertilización demostró una reducción general del pH del suelo en comparación con el valor inicial de 7,1. En el caso del ají, un cultivo que prospera en suelos ligeramente ácidos (pH entre 5,5 y 6,8), esta acidificación puede ser beneficiosa, ya que favorece la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales como el fósforo, el hierro y el manganeso [18].

El tratamiento T3 (Mezcla), que alcanzó un pH de 6,0, mostró ser el que mayor efecto acidificante tiene sobre el suelo. Este nivel de pH se encuentra dentro del rango óptimo para el cultivo de ají, lo que sugiere que podría mejorar las condiciones de crecimiento y la absorción de nutrientes por parte de la planta. Sin embargo, es importante monitorear cuidadosamente este efecto, ya que una acidificación excesiva podría inhibir la disponibilidad de nutrientes importantes como el magnesio y el calcio, lo que afectaría negativamente al desarrollo del cultivo.

Por otro lado, los tratamientos T0 y T2 presentaron valores de pH más controlados y consistentes, lo que indica un impacto moderado en la acidificación del suelo. Estos tratamientos parecen generar un ambiente de suelo más estable, lo que podría ser ventajoso para el manejo a largo plazo del suelo en cultivos sucesivos de ají. La consistencia de las

mediciones sugiere que estos tratamientos son menos propensos a variaciones bruscas en la acidez del suelo, lo que puede contribuir a una mayor predictibilidad en el rendimiento del cultivo. La mayor variabilidad en las mediciones de pH se encontró en los tratamientos T1 e Inicial. Este comportamiento podría indicar que estos tratamientos no son ideales para garantizar condiciones óptimas y uniformes de suelo para el cultivo de ají.

Los datos del pH del suelo, evaluados en esta prueba, no presentan desviaciones significativas de la normalidad ($0,1313 > 0,05$). Esto permite el uso de técnicas estadísticas paramétricas para analizar el efecto de los tratamientos de fertilización sobre el pH. El valor p menor que 0,05 es extremadamente bajo ($p = 7,15E-08$), lo que implica que hay una diferencia significativa entre las medias de los diferentes tratamientos de fertilización con respecto al pH del suelo. Los resultados del análisis de Tukey revelaron que hay diferencias significativas entre todos los tratamientos en comparación con los valores iniciales de pH del suelo T0 ($p = 9,05E-05$), T1 ($p = 2,66E-07$), T2 ($p = 1,97E-04$) y T3 ($p = 8,34E-08$). Esto indica que cada uno de los tratamientos utilizados afecta el pH de manera notable.

La aplicación de fertilizantes, especialmente aquellos que contienen compuestos ácidos o bases, puede alterar el pH del suelo, ya que estos productos químicos pueden reaccionar con los componentes del suelo y afectar la disponibilidad de nutrientes [19]. Esto es consistente con el hallazgo de que todos los tratamientos utilizados afectaron notablemente el pH del suelo, con valores p extremadamente bajos, que indican significancia estadística. También hay diferencias significativas entre T0 y T1 ($p = 2,51E-04$), T0 y T3 ($p = 2,83E-05$), T1 y T2 ($p = 1,14E-04$), así como entre T2 y T3 ($p = 1,46E-05$), las cuales indican que la naturaleza del fertilizante juega un papel importante en la modificación del pH. Se ha reportado que los fertilizantes orgánicos tienden a aumentar la acidez del suelo debido a su contenido de materia orgánica, mientras que los fertilizantes inorgánicos pueden tener un efecto más variable, dependiendo de su composición química [20].

Conductividad eléctrica, C.E.

Todos los tratamientos redujeron la conductividad eléctrica del suelo en comparación con el valor inicial. T0 fue el tratamiento que más redujo la conductividad en la muestra de suelo, lo que crea un entorno más adecuado para el cultivo del ají, mejorando la disponibilidad de nutrientes esenciales y facilitando el crecimiento saludable de la planta. Se ha reportado que los suelos con baja conductividad eléctrica tienen una menor concentración de sales lo que permite una mejor absorción de nutrientes, como el potasio, el fósforo y el nitrógeno [21], que son importantes para el desarrollo del ají.

Las comparaciones entre el valor Inicial y T0 ($p = 1,01E-03$) y entre Inicial y T1 ($p = 0,01371$) son estadísticamente significativas. Esto indica que los tratamientos T0 y T1

provocaron una reducción en la conductividad eléctrica en comparación con el estado inicial del suelo. Se ha explicado en otros trabajos que las enmiendas orgánicas, como el compost y otros tratamientos similares, mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo, favoreciendo la disminución de la conductividad eléctrica debido a una mejor estructura del suelo y a un incremento en la actividad biológica que ayuda a reducir la acumulación de sales solubles [22]. En particular, los tratamientos como el Bocashi han sido reconocidos por su capacidad para reducir la salinidad del suelo, lo que se refleja en los menores valores de conductividad eléctrica en comparación con el estado inicial del suelo.

Entre los tratamientos, la única diferencia significativa observada es entre T0 y T3 ($p = 0,01371$). Esto puede explicarse por las propiedades fisicoquímicas distintas de cada tratamiento y su impacto en la dinámica de las sales solubles en el suelo. El Bocashi (T0) es un fertilizante orgánico fermentado que mejora la estructura del suelo y promueve la actividad microbiana, lo que favorece la lixiviación de sales y la reducción de la conductividad eléctrica [23].

Por otro lado, aunque el tratamiento T3 (mezcla) también fue favorable en términos de reducir la conductividad eléctrica (ya que no presenta una diferencia significativa frente al valor inicial), la diferencia significativa entre T0 y T3 ($p = 0,01371$) sugiere que T0 fue más efectivo que T3. En este sentido, se puede concluir que T0 fue el tratamiento más favorable en la reducción de la salinidad del suelo, mientras que T3 también tuvo un efecto beneficioso, pero menor en comparación. Las demás comparaciones entre tratamientos no muestran diferencias estadísticamente significativas, lo que sugiere que T1, T2 y T3 tienen efectos similares entre ellos y con respecto a T0 en términos de conductividad eléctrica.

Capacidad de Intercambio Catiónico, C.I.C.

Todos los tratamientos incrementaron la C.I.C. en comparación con el valor inicial, lo que propende a mejorar la capacidad del suelo para retener nutrientes [24]. Esto es particularmente relevante para el cultivo del ají, que requiere suelos fértiles para un óptimo crecimiento. Un suelo con una alta C.I.C. es básico para el ají, ya que este cultivo demanda una buena disponibilidad de nutrientes durante todas sus fases de crecimiento [25]. Los tratamientos T1 y T3 parecen ser los más prometedores para maximizar la fertilidad del suelo y, por lo tanto, mejorar los rendimientos del cultivo.

El valor de $p = 0,01019$ es menor que el nivel de significancia de 0,05, lo que indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de las muestras. Existe una diferencia altamente significativa entre los valores iniciales del C.I.C. y el tratamiento T1 ($p = 0,001015$). Esto indica que el tratamiento T1 provocó un aumento notable en la capacidad de intercambio catiónico en comparación con el estado inicial del suelo. En ese

sentido, el uso de enmiendas o materiales orgánicos ricos en nutrientes tienen la capacidad de mejorar la actividad microbiológica, las condiciones físicas y biológicas del suelo, aumentar la retención de cationes y, en consecuencia, incrementar la C.I.C. del suelo [26]. Este proceso ocurre porque los compuestos orgánicos liberan cationes que pueden ser retenidos por las partículas de arcilla y la materia orgánica del suelo, lo que explica el aumento significativo observado en el tratamiento T1.

También se encontró diferencias significativas entre el valor inicial y T3 ($p = 0,01762$), lo que sugiere que el tratamiento T3 tuvo un impacto significativo en el aumento del C.I.C. El hecho de que T3 también haya mostrado una mejora significativa sugiere que los componentes del tratamiento mixto favorecen el aumento de la C.I.C., posiblemente debido a una combinación de material orgánico y otros elementos que tiene el potencial de reestablecer las concentraciones de los cationes intercambiables aumentando su disponibilidad para las plantas [27].

Contenido de calcio

Se encontró que el tratamiento T2, mostró un aumento significativo en los niveles de calcio ($3,4 \pm 0,2$), esto podría estar relacionado con la composición mineral del fertilizante aplicado. Los fertilizantes minerales inorgánicos tienen un impacto directo sobre la concentración de ciertos nutrientes en el suelo, como el calcio, debido a su alta disponibilidad en formas que las plantas pueden absorber fácilmente [28]. En cambio, los fertilizantes orgánicos como el Bocashi (T0) tienden a mejorar la estructura y la retención de nutrientes en el suelo, pero no siempre promueven aumentos inmediatos en el contenido de elementos específicos como el calcio. Los resultados del tratamiento T3 (mezcla), mostró una notable disminución en los niveles de calcio, lo que puede deberse a la presencia de componentes que promueven la lixiviación de este elemento o que interfieren con su absorción, esto sugiere que algunas mezclas de fertilizantes pueden modificar la dinámica de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes [29].

El valor de $p = 5,68E-12$ es menor que el nivel de significancia de 0,05, lo que indica que hay una diferencia altamente significativa entre las medias de los niveles de calcio en los distintos tratamientos. Las diferencias entre T2 y todos los demás tratamientos T0 ($p = 1,15E-03$), T1 ($p = 1,27E-04$), T3 ($p = 1,49E-06$), Inicial ($p = 8,67E-03$) son estadísticamente significativas, lo que indica que T2 tiene un efecto mucho más pronunciado en el aumento de calcio. T3 también presenta diferencias significativas con todos los tratamientos, especialmente con el valor inicial ($p = 7,91E-05$) y con T2 ($p = 4,60E-04$), sugiriendo que provoca una reducción más pronunciada en los niveles de calcio.

Contenido de magnesio

Todos los tratamientos (T0, T1, T2 y T3) incrementan significativamente los niveles de magnesio en el suelo en comparación con el valor inicial. El tratamiento T1 es el más efectivo, con el mayor incremento en los niveles de magnesio, aunque con mayor error en los resultados (4,1; 0,4), seguido de T0 (3,9; 0,2) y T3 (2,86; 0,09). T2 (2,596; 0,001) tuvo el menor incremento relativo, aunque sigue siendo considerable en comparación con el valor inicial. Otros trabajos han señalado que los fertilizantes orgánicos y minerales influyen significativamente en la capacidad del suelo para retener cationes como el magnesio, mejorando su disponibilidad para las plantas [30]. En particular, los fertilizantes minerales pueden causar un aumento rápido de nutrientes como el magnesio, aunque presentan una mayor variabilidad en los resultados debido a factores como la disolución y absorción por parte del suelo, lo que podría explicar el mayor error en el tratamiento T1. También destaca que los fertilizantes orgánicos, como el T0, mejoran la estructura del suelo y, aunque aumentan los niveles de magnesio, tienden a hacerlo de manera más gradual y con menor variabilidad en los resultados.

Los resultados indican que hay diferencias significativas entre al menos uno de los tratamientos en cuanto a los niveles de magnesio ($0,01212 < 0,05$). Por lo tanto, es recomendable realizar un análisis post-hoc, como la prueba de Dunn, para identificar específicamente cuáles tratamientos presentan diferencias significativas entre ellos.

Los resultados sugieren que tanto los tratamientos T0 ($p = 0,0047$) y T1 ($p = 0,003487$) incrementaron significativamente los niveles de magnesio en comparación con el valor inicial, así como T0 en comparación con T2 ($p = 0,04461$). Por otro lado, las comparaciones con el tratamiento T3 no muestran diferencias significativas con la mayoría de los tratamientos, lo que podría indicar que su efecto en el aumento de magnesio no es tan pronunciado. Estos hallazgos resaltan la efectividad de T0 y T1 para aumentar los niveles de magnesio en el suelo en comparación con los otros tratamientos. La aplicación de fertilizantes, tanto orgánicos como inorgánicos, tiene un impacto notable en los indicadores de nutrientes del suelo, con un efecto más pronunciado en suelos con baja fertilidad inicial [31]. Además, sugiere que ciertos tratamientos son más eficaces que otros para aumentar los niveles de nutrientes específicos, lo que coincide con los hallazgos del estudio.

Contenido de potasio

El resultado ($0,013 < 0,05$) indica que al menos un tratamiento tiene un efecto distinto sobre los niveles de potasio en el suelo, lo que justifica un análisis post-hoc para determinar cuáles grupos específicos son diferentes entre sí. Los tratamientos T1 ($p = 0,003$) y T3 ($p = 0,022$) incrementan significativamente los niveles de potasio en comparación con el valor inicial, lo que sugiere una mejora en la disponibilidad de este nutriente esencial para

el crecimiento de las plantas.

Este aumento en la disponibilidad de potasio es importante para procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la regulación hídrica en las plantas, lo que contribuye a un crecimiento óptimo [32]. Además, la diferencia significativa entre T1 y T2 ($p = 0,008$) sugiere que T1 es más efectivo en este aspecto, mientras que T2, aunque efectivo, no logra el mismo incremento que T1.

Contenido de nitrógeno

Los valores de nitrógeno para todos los tratamientos son significativamente más bajos que el valor inicial (45). Esto sugiere que, a pesar de la aplicación de los tratamientos, no se alcanzan niveles óptimos de nitrógeno en el suelo o en las plantas, lo que podría ser un indicativo de la efectividad limitada de las formulaciones utilizadas. El tratamiento T2 presenta la mediana más alta (6,5), lo que indica que, entre los tratamientos evaluados, es el más efectivo para aumentar los niveles de nitrógeno en el suelo. Los tratamientos T0 (Bocashi), T1 y T3 (mezcla), mostraron que, aunque son efectivos, no logran incrementar significativamente los niveles de nitrógeno en comparación con T2. La limitada capacidad de los tratamientos para aumentar los niveles de nitrógeno puede tener repercusiones importantes en la salud del suelo y el crecimiento de las plantas. El nitrógeno es un nutriente esencial para el desarrollo vegetal, y su deficiencia puede limitar el crecimiento y el rendimiento de los cultivos [33]. No obstante un exceso de nitrógeno trae como consecuencia un desarrollo vegetativo acelerado y excesivo, resultando en la ruptura de ramas [34].

Los resultados del análisis post-hoc sugieren que tanto el tratamiento T0 ($p = 0,006$) como T1 ($p = 0,039$) y T3 ($p = 0,022$) fueron efectivos para incrementar los niveles de nitrógeno en comparación con el tratamiento inicial. Se ha demostrado que la aplicación de enmiendas orgánicas, como el Bocashi (T0), puede mejorar significativamente los niveles de nitrógeno en el suelo, lo que se traduce en un aumento en la fertilidad y, por ende, en el rendimiento de los cultivos [35]. Este incremento se atribuye a la capacidad de estas enmiendas para liberar nutrientes de manera gradual y sostenida.

En este contexto, otros trabajos han investigado las mezclas de fertilizantes orgánicos y minerales (como en el tratamiento T3) pueden ser más efectivas que los fertilizantes convencionales, ya que favorecen la interacción entre los nutrientes y la microbiota del suelo, mejorando así la disponibilidad de nitrógeno para las plantas [36].

Contenido de fósforo

Los resultados sugieren que la combinación de fertilizantes orgánicos y minerales (T3) es

la más efectiva para incrementar los niveles de fósforo en el suelo, lo que es crucial para el crecimiento de las plantas, dado que el fósforo es un nutriente esencial que influye en el desarrollo radicular y la floración.

El descenso en los niveles de fósforo en los tratamientos T0 y T1 resalta la importancia de utilizar enmiendas adecuadas para mantener la fertilidad del suelo. Esto es consistente con investigaciones previas que han indicado que las enmiendas orgánicas por sí solas pueden no proporcionar suficientes nutrientes, especialmente fósforo, a menos que se utilicen en combinación con fertilizantes minerales [37].

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis indicaron que hay diferencias significativas en los niveles de fósforo entre al menos algunos de los tratamientos evaluados ($0,009 < 0,005$). Los resultados sugieren que el tratamiento T1 muestra una mejora significativa en comparación con el valor inicial ($p = 0,014$), indicando que la aplicación de este tratamiento es efectiva para aumentar los niveles de fósforo en el suelo. Además, el hecho de que T3 sea significativamente diferente de T0 ($0,014$) sugiere que esta combinación tiene un efecto positivo más notable sobre la disponibilidad de fósforo. La diferencia significativa observada entre T1 y T3 ($p = 0,001$) indica que, aunque ambos tratamientos son efectivos, T1 tiene un efecto más pronunciado en el incremento de fósforo.

Propiedades físicas

En la Tabla 3, se presentan los resultados para la capacidad de retención de humedad y los porcentajes de arena, limo y arcilla que permiten determinar la textura del suelo en estudio.

Tabla 3. Propiedades físicas de las muestras de suelos en cultivo de ají bajo diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento	% R.H.	% Arcilla	% Limo	% Arena
Inicial	20,8± 0,2	19±2	23±2	58±1
T0 Orgánica Mineral (agro húmicos Plus)	31,5±0,5	11±3	24±2	61±2
T1 mpm Inorgánico (N, P, K)	31,6±0,1	16±3	20±3	57±5
T2	28,7±0,1	11±3	26±2	57±3
T3 (Mezcla) (agro húmicos Plus + mpm)	32±0,7	13±1	31±3	59±1

Se reporta el promedio y la desviación estándar para n=3.

Retención de humedad, R.H.

En el tratamiento inicial el porcentaje de retención de humedad resultó el más bajo, con un promedio de 20,8 %. Esto sugiere que, sin tratamiento adicional, la capacidad del suelo para retener humedad es limitada. Con un promedio de 31,5 %, T0 muestra un incremento en la R.H en comparación con el valor inicial. La mejora sugiere que los

componentes húmicos orgánicos mejoran la estructura del suelo, lo que contribuye a una mayor capacidad para retener agua. El promedio del 31,6 % de T1 es similar a T0, lo que indica que la fertilización inorgánica también tiene un efecto positivo en la retención de humedad. Los fertilizantes inorgánicos como el N, P y K pueden aumentar la capacidad del suelo para mantener la humedad debido a su interacción con las partículas del suelo [38].

El valor de 28,7 %, aunque el T2 efectivo, no alcanza los niveles de retención de T0 y T1. Esto sugiere que la composición de este tratamiento puede no ser tan eficiente en la mejora de la retención de agua. T3 presenta la mayor retención de humedad con una mediana de 32 %. La combinación de fertilizantes orgánicos y minerales parece tener un efecto sinérgico, mejorando la estructura del suelo y su capacidad para retener agua. Esto refleja que los tratamientos con fertilizantes, tanto orgánicos como inorgánicos, mejoran la capacidad del suelo para retener humedad. En este sentido, los componentes orgánicos, como los ácidos húmicos, mejoran la estructura del suelo al aumentar la capacidad de intercambio catiónico y la porosidad, lo que facilita la retención de agua [39]. Este fenómeno es consistente con los resultados encontrados en T0.

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis indican que hay diferencias significativas en los niveles de retención de humedad entre al menos algunos de los tratamientos evaluados ($0,02306 < 0,005$). Las comparaciones entre el grupo Inicial y los grupos T0 ($p = 0,03576$), T1 ($p = 0,01371$) y T3 ($p = 0,004656$) demuestra que hay diferencias significativas. Esta diferencia puede explicarse por los mecanismos que los fertilizantes orgánicos y minerales promueven en el suelo.

El tratamiento T3, que combina ambos tipos de fertilización, presenta la retención de humedad más alta, lo que refleja un efecto sinérgico que mejora las propiedades físicas del suelo, haciéndolo más eficiente en términos de retención de agua, esto es coherente con otros trabajos que destacan los beneficios de combinar materia orgánica con fertilizantes inorgánicos para maximizar la eficiencia de los suelos agrícolas [16].

Arcilla

El valor inicial de arcilla en el suelo es el más alto (19 ± 2), lo que indica que, antes de cualquier tratamiento, el contenido de arcilla es relativamente elevado. Tras la aplicación de fertilización orgánica (Bocashi), el contenido de arcilla disminuye significativamente en comparación con el valor inicial (11 ± 3). Esto sugiere que el uso de Bocashi mejora la estructura del suelo, aumentando la porosidad y reduciendo la proporción de partículas finas como la arcilla, lo que podría favorecer mejores condiciones para el crecimiento de las plantas [40]. T1 tiene un impacto menor sobre el contenido de arcilla en comparación con T0, pero aún muestra una reducción respecto al estado inicial. Esto puede ser debido

a que los minerales mejoran la estructura física del suelo sin reducir drásticamente las partículas de arcilla.

T2 produjo un efecto similar al de T0, con una reducción notable de la arcilla en el suelo. La similitud en los resultados entre estos dos tratamientos podría indicar que ambos tienen un impacto similar en las propiedades del suelo relacionadas con la cantidad de arcilla. T3 mostró un valor de arcilla intermedio, lo que sugiere que este tratamiento logra equilibrar los efectos de ambos tipos de fertilización, mejorando la estructura del suelo sin reducir drásticamente la cantidad de arcilla.

El valor de p es menor a 0,05, lo que indica que hay una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Esto significa que los tratamientos aplicados influyen significativamente en el contenido de arcilla en el suelo ($0,04048 < 0,005$).

Los resultados del análisis ANOVA indicaron una diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a la cantidad de arcilla presente en el suelo. Sin embargo, el análisis de Tukey, que compara pares de tratamientos, muestra que esas diferencias no son lo suficientemente grandes como para ser consideradas estadísticamente significativas entre tratamientos individuales. Esto indica que, aunque los tratamientos pueden tener un impacto en la distribución de arcilla, la variación entre ellos no es lo bastante marcada. Esto puede deberse a que las propiedades físicas del suelo, como la proporción de arcilla, son más difíciles de modificar significativamente en el corto plazo mediante la fertilización, dado que los componentes como la arcilla son relativamente estables y no responden de manera inmediata a intervenciones externas.

En términos prácticos, esto podría indicar que, aunque los tratamientos utilizados mejoran otros aspectos del suelo, como la retención de humedad o los niveles de nutrientes, su capacidad para modificar la composición de arcilla es limitada, o requiere más tiempo o intervenciones más agresivas para manifestarse.

Limo, L

El valor inicial de limo en el suelo fue de 23 %, lo que representa la base para evaluar cómo los diferentes tratamientos modifican el contenido de limo. T0 mostró un ligero incremento en el contenido de limo (24 %) en comparación con el valor inicial, pero no es un cambio significativo. Esto sugiere que este tratamiento orgánico no afecta de manera drástica el limo del suelo. T1 mostró una disminución en el contenido de limo (20 %). Esto puede deberse a que el tratamiento orgánico mineral podría estar afectando la estructura del suelo de forma que aumenta la proporción de otros componentes (como arena o arcilla), disminuyendo la presencia relativa del limo. T2 aumentó el contenido de limo a 26 %. Esto indica que los fertilizantes inorgánicos pueden tener un efecto en

la estabilidad de la estructura del suelo, promoviendo un ligero incremento en el limo. T3 generó el mayor incremento en el limo (31 %), lo que indica un efecto sinérgico entre ambos tipos de fertilizantes, que podría mejorar la capacidad del suelo para retener partículas más finas como el limo, lo que a su vez podría mejorar su capacidad de retención de agua y nutrientes [41].

Los resultados de la prueba ANOVA indican que no hay diferencias significativas en los niveles de limo entre al menos algunos de los tratamientos evaluados ($0,197 > 0,005$). La falta de significancia sugiere que ninguno de los tratamientos aplicados en el estudio (orgánico, inorgánico, o mezclas) genera un cambio claro o sistemático en la cantidad de limo en el suelo en comparación con los otros tratamientos. Esto puede indicar que el limo no responde de manera drástica a los tratamientos de fertilización en este experimento, o que las diferencias observadas no fueron lo suficientemente consistentes para ser estadísticamente concluyentes.

Arena

Las variaciones en los valores de arena entre los tratamientos son mínimas. Esto sugiere que, a pesar de las diferentes formulaciones de fertilización, el contenido de arena en el suelo permanece relativamente estable y no es significativamente alterado por estos tratamientos. Esta falta de respuesta puede explicarse en parte por la naturaleza física y química de la arena en el suelo. La arena, al ser una fracción del suelo de mayor tamaño y compuesta principalmente por minerales resistentes a la alteración química, como el cuarzo, no suele verse afectada significativamente por la fertilización, que impacta más en fracciones con mayor capacidad de intercambio de nutrientes, como el limo o la arcilla [42].

Estos autores explican que las partículas de arena contribuyen principalmente a la estructura y la porosidad del suelo, mientras que las fracciones más pequeñas, como el limo y la arcilla, son las que realmente intervienen en las reacciones químicas y en la retención de nutrientes. Esto respalda la observación de que el contenido de arena es estable y no sufre alteraciones significativas con la fertilización, ya que los nutrientes aplicados son retenidos en mayor medida en las fracciones más finas del suelo.

La prueba ANOVA para los valores de arena muestra que no hay una diferencia significativa entre los tratamientos ($0,486 > 0,05$). Esto indica que los diferentes tipos de fertilización aplicados no tuvieron un efecto notable en los niveles de arena en el suelo, y las variaciones observadas entre las medias de los tratamientos se deben probablemente al azar.

Este resultado implica que, en el contexto del experimento, el tipo de fertilización no afectó sustancialmente la proporción de arena en el suelo, lo cual puede deberse a la

estabilidad física de la fracción arenosa del suelo. Las partículas más grandes del suelo, como la arena, son menos reactivas a las modificaciones químicas o biológicas inducidas por la fertilización, debido a su menor área superficial en comparación con partículas más pequeñas como el limo o la arcilla [43].

Propiedades biológicas

Respiración basal, R.B.

T0 y T1 presentan los valores más altos de respiración basal, con medias de 8,4 y 8,7 respectivamente, lo cual sugiere una alta actividad microbiana, posiblemente debido a la disponibilidad de compuestos orgánicos fácilmente degradables en el suelo [44]. T2 y T3 muestran valores de respiración basal más bajos, con medias de 7,2 y 7,7 respectivamente. La fertilización inorgánica suele tener un impacto menor en la respiración basal en comparación con la orgánica, ya que no aporta directamente materia orgánica que los microorganismos puedan utilizar de inmediato [45].

La diferencia encontrada en los valores puede interpretarse como una indicación de que los tratamientos con fertilización orgánica promueven una mayor actividad microbiana en el suelo que los tratamientos inorgánicos o mixtos. Esto es coherente con la literatura científica que sugiere que los suelos tratados con fertilizantes orgánicos tienden a mostrar una respiración basal más alta debido al aporte de carbono orgánico que estimula la biomasa microbiana [46].

El valor de p es menor a 0,05, lo que indica que hay una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Esto significa que los tratamientos aplicados influyen significativamente en la respiración basal en el suelo ($0,015 < 0,005$). La diferencia significativa entre T1 y T2 podría explicarse por las diferencias en la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiológica asociada con los fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Los fertilizantes orgánicos suelen incrementar la actividad microbiológica y la respiración del suelo debido a la descomposición de materia orgánica, lo cual no es necesariamente el caso con los fertilizantes inorgánicos, que proveen nutrientes en formas que pueden ser rápidamente asimiladas, pero sin estimular del mismo modo la actividad biológica del suelo [47]. Este contraste es congruente con los resultados observados, donde el tratamiento orgánico mineral (T1) presenta una diferencia significativa en comparación con el inorgánico mineral (T2).

Análisis de parámetros biométricos del desarrollo de las plantas de ají para los diferentes tratamientos aplicados

Los datos de los parámetros biométricos obtenidos en el desarrollo de las plantas de ají

bajo diferentes tratamientos de fertilización se presentan en la Tabla 4. Los parámetros observados incluyen el número de hojas, la altura de la planta en centímetros y el diámetro del tallo en milímetros, medidos en intervalos de 19, 38 y 61 días.

Tabla 4. Parámetros biométricos de plantas de ají bajo diferentes tratamientos de fertilización.

TRATAMIENTO	DÍAS	Nº HOJAS	ALTURA PLANTA (cm)	DIÁMETRO TALLO (mm)
T0	19	13,8	7,8	2,5
	38	20,2	20,2	3,6
	61	13,8	25,5	6,1
T1	19	8,2	10,3	2,4
	38	13,9	13,5	2,9
	61	13,6	17,2	4,4
T2	19	12,4	8,6	2,4
	38	19,8	20,5	4
	61	12,4	28,6	6,8
T3	19	9,3	14,4	2,6
	38	27,6	26,6	4,6
	61	9,3	28	7,8

Las plantas bajo el tratamiento T0, a los 19 días desde la siembra presentaban un crecimiento moderado, con una altura de 7,8 cm, un diámetro de tallo de 2,5 mm y un número promedio de 13,8 hojas. Sin embargo, para el día 38, el crecimiento se aceleró, alcanzando 20,2 cm en altura y un diámetro de 3,6 mm, con un aumento en el número de hojas (20,2). Para el día 61, la altura final fue de 25,5 cm y el diámetro del tallo de 6,1 mm, aunque el número de hojas se estabilizó en 13,8, lo que sugiere que el Bocashi favorece principalmente el crecimiento en altura y grosor del tallo durante las etapas más avanzadas del cultivo.

El tratamiento T1 mostró un inicio más lento, con un promedio de 8,2 hojas, una altura de 10,3 cm y un diámetro de tallo de 2,4 mm al día 19. Al llegar al día 38, las plantas crecieron de manera moderada a 13,5 cm de altura, con un diámetro de 2,9 mm y 13,9 hojas. Para el día 61, la altura se estabilizó en 17,2 cm y el diámetro aumentó a 4,4 mm, mientras el número de hojas se mantuvo en 13,6. Estos resultados indican que el T1 promueve un crecimiento estable y uniforme, aunque a un ritmo más moderado comparado con otros tratamientos.

El tratamiento T3 tuvo un impacto inicial moderado, con las plantas alcanzando 8,6 cm de altura, un diámetro de 2,4 mm y 12,4 hojas al día 19. Sin embargo, a los 38 días, las plantas mostraron un crecimiento más acentuado, alcanzando 20,5 cm de altura y un diámetro de tallo de 4,0 mm, con un aumento de hojas a 19,8. Al día 61, la altura llegó a 28,6 cm y el diámetro del tallo a 6,8 mm, con el número de hojas manteniéndose en 12,4.

Desde el inicio, el tratamiento T4 mostró resultados notables, con las plantas alcanzando

14,4 cm de altura, un diámetro de 2,6 mm y un promedio de 9,3 hojas al día 19, superando a los demás tratamientos en términos de altura. Para el día 38, el crecimiento fue notablemente acelerado, con las plantas alcanzando 26,6 cm de altura, 4,6 mm de diámetro y 27,6 hojas, lo que representa el crecimiento más rápido en todas las dimensiones. Al llegar al día 61, la altura se mantuvo en 28 cm y el diámetro creció a 7,8 mm, aunque el número de hojas se redujo a 9,3, sugiriendo que la combinación de fertilizantes promueve un desarrollo rápido en etapas iniciales y medias, estabilizándose después. Las figuras 15, 16 y 17 permiten observar los resultados mencionados.

Estos resultados son coherentes con lo que se ha reportado en la literatura sobre el uso de fertilizantes orgánicos y combinaciones de fertilizantes orgánico-inorgánico en cultivos. Los fertilizantes orgánicos pueden mejorar la estructura del suelo y la retención de agua, lo cual favorece el desarrollo de las raíces y el crecimiento de la planta. Por otro lado, la aplicación de fertilizantes inorgánicos aporta nutrientes rápidamente disponibles, lo que potencia el crecimiento en altura y el diámetro del tallo en etapas iniciales del cultivo [47]. En combinación, estos efectos se complementan y maximizan el desarrollo general de la planta, lo cual coincide con los resultados observados en el tratamiento T3.

La Tabla 5 presenta los datos biométricos de los frutos de ají en función de diferentes tratamientos de fertilización a lo largo de 77, 83 y 112 días. Al observar los resultados, se evidencian variaciones en el número de frutos cosechados, su peso, y las longitudes ecuatoriales y axiales, que sugieren efectos específicos de cada tratamiento en el desarrollo de los frutos de ají.

Tabla 5. Datos biométricos de los frutos de ají según tratamientos.

TRATAMIENTO	DÍAS	Nº FRU- TOS	FRUTOS CO- SECHADOS	PESO (g)	LONGITUD ECUATORIAL (mm)	LONGITUD AXIAL (mm)
T0	77	7	1	9	27	26
	83	10	4	9	25	28
	112	2	5	8	23	30
T1	77	7	5	5	23	28
	83	9	5	8	23	30
	112	2	6	6	19	24
T2	77	3	4	8	38	41
	83	14	12	7	25	30
	112	3	8	7	23	28
T3	77	8	6	10	33	37
	83	19	14	8	25	32
	112	8	15	7	22	27

El tratamiento T0 con Bocashi muestra un número moderado de frutos cosechados y un peso promedio estable de 8 a 9 gramos, con dimensiones ecuatoriales y axiales alrededor

de 23-30 mm en los días 83 y 112. Este comportamiento sugiere que el Bocashi promueve un crecimiento de frutos estable y balanceado, aunque no tan intensivo como otros tratamientos en cuanto a la cantidad total de frutos. Se ha reportado que el compostaje y abonos orgánicos como Bocashi aumentan la materia orgánica del suelo, favoreciendo el desarrollo estructural de las plantas en etapas avanzadas del cultivo [48].

En el tratamiento T1, los frutos presentan un peso algo menor (5-8 gramos) en comparación con otros tratamientos, y las dimensiones ecuatoriales y axiales oscilan entre 19 y 30 mm. Esto sugiere que el T1 promueve la producción de frutos, aunque con una menor ganancia en peso y tamaño. Los fertilizantes orgánicos líquidos como el T1 tienden a proporcionar nutrientes en forma rápidamente disponible, lo cual puede fomentar el crecimiento inicial de la planta, pero a veces sin optimizar el peso final del fruto [49]. Esto podría explicar por qué los frutos son más numerosos, aunque no tan robustos en comparación con otros tratamientos.

El tratamiento T2 muestra un alto número de frutos cosechados a los 83 días (12 frutos), aunque con un peso medio de 7-8 gramos y dimensiones ecuatoriales y axiales que rondan los 23-41 mm. Estos resultados sugieren que el T2 favorece la producción de frutos de tamaño considerable, en particular en la etapa media de cultivo (83 días). La fertilización inorgánica aporta rápidamente nitrógeno, fósforo y potasio en forma soluble, acelerando el crecimiento de los frutos y el desarrollo vegetativo, tal como señala [13]. Esto explica el tamaño relativamente grande de los frutos en la fase intermedia del cultivo.

El tratamiento T3 resultó en una mayor cantidad de frutos en el periodo de 83 y 112 días, con dimensiones ecuatoriales y axiales promedio de 25-32 mm y un peso estable de alrededor de 7-10 gramos. Esta combinación parece ser la más efectiva para producir una gran cantidad de frutos, manteniendo un peso y tamaño uniforme. La sinergia entre fertilizantes orgánicos e inorgánicos puede maximizar la disponibilidad de nutrientes en las diferentes fases del crecimiento de la planta, como lo destaca [41]. La mezcla de T3 combina las ventajas de la liberación lenta de nutrientes del T1 y la absorción rápida del T2, promoviendo un desarrollo más uniforme y vigoroso de los frutos.

Análisis estadísticos de parámetros biométricos

Número de hojas

Se procedió a aplicar la prueba de normalidad para determinar la distribución de la muestra y elegir la prueba estadística más adecuada.

El valor p (0,8567) es mayor que el nivel de significancia comúnmente utilizado (0,05), lo que sugiere que no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, no hay evidencia suficiente

para afirmar que existen diferencias significativas entre las medias del número de hojas en los grupos analizados.

Altura de la planta

La prueba de normalidad sugiere que los datos de altura de la planta en los tratamientos analizados presentan una distribución normal ($0,2958 > 0,005$). El valor p ($0,5734$) es mayor que el umbral común de $0,05$, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre las medias de altura de las plantas en los diferentes grupos analizados. Por lo tanto, no hay evidencia suficiente para afirmar que existen diferencias significativas en la altura de las plantas entre los grupos evaluados.

Diámetro del tallo

El valor p ($0,7574$) es mayor que el umbral común de $0,05$. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias del diámetro del tallo entre los grupos analizados.

Frutos

El valor p ($0,5356$) es mayor que el umbral común de $0,05$. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias de los frutos entre los grupos analizados.

Frutos cosechados

El valor p ($0,07102$) fue mayor que el umbral común de $0,05$. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias de los frutos cosechados entre los grupos analizados.

Esto implica que las condiciones experimentales o tratamientos aplicados pueden no haber tenido un impacto significativo en la cantidad de frutos cosechados. Sin embargo, dado que el p-valor está cerca del umbral de significancia, podría ser valioso considerar el aumento del tamaño de la muestra o explorar más a fondo los efectos de los diferentes tratamientos, ya que se podrían estar observando diferencias que merecen una investigación adicional.

Masa

El valor p ($0,1335$) fue mayor que el umbral común de $0,05$. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias de las masas entre los grupos analizados.

Longitud ecuatorial

El valor p (0,3326) es mayor que el umbral común de 0,05. Esto quiere decir que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medianas de la longitud ecuatorial entre los grupos analizados. Esto implica que, a pesar de las diferencias observadas en los datos, estas no son suficientemente significativas como para concluir que existen variaciones reales en las medianas entre los grupos analizados.

Longitud axial

El valor p (0,4027) es mayor que el umbral común de 0,05. Esto quiere decir que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias de la longitud axial entre los grupos analizados. Esto significa que las diferencias observadas en la longitud axial entre los grupos probablemente se deban al azar y no a un efecto real.

Análisis de productividad del cultivo de ají para los diferentes tratamientos aplicados

El análisis de productividad del cultivo de ají en relación con los diferentes tratamientos aplicados permitió evaluar la eficacia de las prácticas empleadas para mejorar el rendimiento por hectárea. A continuación, en la Figura 2, se presentan los resultados obtenidos con su respectiva discusión.

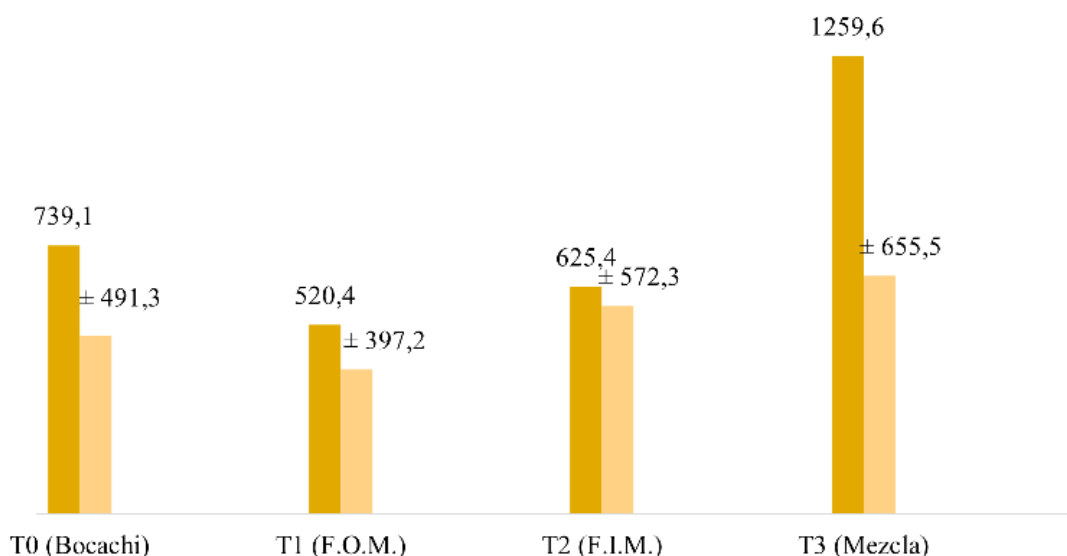


Figura 2. Promedio de Productividad (kg/ha) y márgenes de variabilidad ($\pm \Delta X$) del Cultivo de Ají (*Capsicu, annum*) según tratamientos aplicados.

Los resultados muestran (Figura 2) que no existen diferencias estadísticamente significativas en la productividad del cultivo de ají entre los tratamientos aplicados (T0, T1,

T2 y T3), tal como lo indica el valor de $p = 0,40$ el cual es superior al nivel de significancia de $0,05$. Este resultado podría atribuirse a un tamaño de muestra reducido ($n = 12$) o a una elevada variabilidad intra-grupo (media cuadrática del error = $289082,000$), factores que disminuyen la potencia estadística del análisis. En ese contexto, la productividad de los cultivos depende directamente de la interacción entre las prácticas de manejo, la calidad del suelo, la variedad y una apropiada fertilización [50, 51]. En la Figura 3 se muestran las etapas de siembra, desarrollo y cosecha de las plantas de ají.



Figura 3. Etapas durante la siembra, desarrollo y cosecha de las plantas de ají.

Conclusiones

Al estudiar el efecto de diferentes tratamientos de fertilización orgánica mineral e inorgánica y mezclas de ellos sobre el crecimiento y productividad de un cultivo de ají (*Capsicum annuum*), se concluye lo siguiente:

En cuanto a la influencia de los diferentes tratamientos de fertilización aplicados en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, destacó que el tratamiento T3, que combina fertilizantes orgánicos y minerales, mostró resultados positivos en varios indicadores de calidad del suelo. En particular, se observó un aumento en la materia orgánica, mejoras en la estructura del suelo, mayor capacidad de intercambio catiónico y una mayor disponibilidad de nutrientes como el fósforo. Estos efectos contribuyen a una mayor fertilidad, mejor retención de humedad y un entorno más favorable para la actividad microbiana.

En el desarrollo de las plantas de ají para los diferentes tratamientos aplicados, se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas en las variables evaluadas como el número de hojas, altura de la planta, diámetro del tallo, frutos, frutos cosechados, longitud axial y longitud ecuatorial entre los tratamientos analizados (T0, T1, T2 y T3). Lo cual indicó que las variaciones observadas en el desarrollo morfológico de las plantas pueden atribuirse al azar o a la variabilidad intrínseca del sistema experimental, y no al efecto directo de los tratamientos.

La productividad del cultivo de ají para los diferentes tratamientos aplicados, resultó que el tratamiento T3 presentó el valor promedio más alto de productividad ($1259,6$ kg/ha), asimismo T1 mostró la menor variabilidad ($\pm 397,2$). Sin embargo, no se encontraron

diferencias estadísticamente significativas en la productividad del cultivo de ají entre los tratamientos aplicados (T0, T1, T2 y T3). Por lo tanto se concluye que, si bien ciertos tratamientos parecen asociarse con mayores rendimientos en términos descriptivos, estos efectos no pueden atribuirse con certeza a los tratamientos aplicados, debido a que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas.

La combinación de fertilizantes orgánicos y minerales representa una práctica agronómica beneficiosa, por lo tanto se recomienda su uso combinado como estrategia sostenible para incrementar la productividad agrícola sin deteriorar la calidad del suelo.

Financiamiento

Este trabajo fue parcialmente financiado con el respaldo institucional de la Universidad de Carabobo (Venezuela), la Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez (Venezuela) y la Universidad Estatal de Bolívar (Ecuador), en el marco de sus líneas de investigación en Gestión de Recursos Naturales y sub línea uso, manejo, conservación y mejoramiento de los suelos.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Carabobo, Venezuela, a través del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente, LIBSA. Los autores expresan su agradecimiento a las instituciones participantes por el soporte logístico y técnico brindado para el desarrollo del presente estudio. De manera especial, se reconoce a la Escuela Popular Agroecológica Ezequiel Zamora por facilitar el acceso al terreno agrícola y por su colaboración en el seguimiento del cultivo de ají. También se agradece al personal de laboratorio por su asistencia en la toma y análisis de muestras de suelo y plantas.

Declaración de disponibilidad de datos

El autor de correspondencia puede suministrar los registros experimentales obtenidos a toda persona interesada; escribir un correo electrónico con razones justificadas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que el fertilizante orgánico mineral utilizado en este estudio, Agrohúnicos Plus, fue suministrado por la empresa PROMIVECA. No obstante, PROMIVECA no tuvo participación alguna en el diseño experimental, la ejecución del trabajo de campo, la recolección, análisis e interpretación de los datos, ni en la redacción del manuscrito o en la decisión de publicar los resultados. Este estudio fue desarrollado bajo estrictos criterios de independencia científica y académica, garantizando la objetividad y transparencia en todos los procesos de investigación.

Referencias

- [1] H. Gorski, I. Gligorea, A. Brudan, and R. Oancea, “Agile Project Management in the Age of Digital Transformation: Exploring Emerging Trends,” *Int. Conf. KNOWLEDGE-BASED Organ.*, vol. 30, no. 3, pp. 76–85, Jun. 2024, doi: 10.2478/kbo-2024-0087.ctive Multi-Skill Resource-Constrained Project Scheduling Considering Flexible Resource Profiles,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 5, p. 1921, Feb. 2024, doi: 10.3390/app14051921.
- [1] K. Islam, A. Rawoof, I. Ahmad, M. Dubey, J. Momo, and N. Ramchiary, “Capsicum annum MYB Transcription Factor Genes: Identification, Expression Analysis, and Their Conservation and Diversification With Other Solanaceae Genomes,” *Front. Plant Sci.*, vol. 12, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.721265>.
- [2] G. E. Barboza, C. C. García, L. de B. Bianchetti, M. V. Romero, and M. Scaldaferrro, “Monograph of wild and cultivated chili peppers (*Capsicum L.*, Solanaceae),” *PhytoKeys*, vol. 200, pp. 1–423, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.3897/phytokeys.200.71667>.
- [3] A. Akhtar, W. Asghar, and N. Khalid, “Phytochemical constituents and biological properties of domesticated capsicum species: a review,” *Bioact. Compd. Heal. Dis.*, vol. 4, no. 9, p. 201, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.31989/bchd.v4i9.837>.
- [4] N. Khan et al., “Agroforestry and Its Services for Soil Management and Sustainability,” in *Sustainable Intensification for Agroecosystem Services and Management*, Singapore: Springer Singapore, 2021, pp. 353–377. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3207-5_11.
- [5] H. Shaji, V. Chandran, and L. Mathew, “Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients,” in *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*, Elsevier, 2021, pp. 231–245. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>.
- [6] A. G. Gashua, Z. Sulaiman, M. M. Yusoff, M. Y. A. Samad, M. F. Ramlan, and M. A. Salisu, “Assessment of Fertilizer Quality in Horse Waste-Based Bokashi Fertilizer Formulations,” *Agronomy*, vol. 12, no. 4, p. 937, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12040937>.
- [7] C. L. Phooi, E. A. Azman, and R. Ismail, “Role of Organic Manure Bokashi Improving Plant Growth and Nutrition: A Review,” *Sarhad J. Agric.*, vol. 38, no. 4, 2022, doi: <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2022/38.4.1478.1484>.
- [8] D. Panday, N. Bhusal, S. Das, and A. Ghalehgolabbbehbahani, “Rooted in Nature: The Rise, Challenges, and Potential of Organic Farming and Fertilizers in

- Agroecosystems,” *Sustainability*, vol. 16, no. 4, p. 1530, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/su16041530>.
- [9] A. Sofo, A. Zanella, and J. Ponge, “Soil quality and fertility in sustainable agriculture, with a contribution to the biological classification of agricultural soils,” *Soil Use Manag.*, vol. 38, no. 2, pp. 1085–1112, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/sum.12702>.
- [10] M. S. Rahman et al., “Elemental analysis in surface soil and dust of roadside academic institutions in Dhaka city, Bangladesh and their impact on human health,” *Environ. Chem. Ecotoxicol.*, vol. 3, pp. 197–208, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enccco.2021.06.001>.
- [11] J. Gerke, “The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage,” *Soil Syst.*, vol. 6, no. 2, p. 33, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>.
- [12] Y. B. Villa, S. D. S. Khalsa, R. Ryals, R. A. Duncan, P. H. Brown, and S. C. Hart, “Organic matter amendments improve soil fertility in almond orchards of contrasting soil texture,” *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, vol. 120, no. 3, pp. 343–361, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10154-5>.
- [13] Wuryantoro, R. M. Wardhani, D. S. Martono, and S. Yahayu, “Application of Bokashi Organic and Nitrogen-Phosphorous-Potassium Inorganic Fertilizers on the Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a Hydroponic System at a Green House in Madiun, Indonesia,” *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, vol. 28, no. 6, pp. 1729–1736, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.4314/jasem.v28i6.11>.
- [14] L. Dong et al., “Impact of short-term organic amendments incorporation on soil structure and hydrology in semiarid agricultural lands,” *Int. Soil Water Conserv. Res.*, vol. 10, no. 3, pp. 457–469, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.10.003>.
- [15] F. Fauzan, M. Fadhil, I. Irfan, D. Yunita, C. Erika, and R. A. Lahmer, “Study of C/N ratio of organic materials and its application in the production of natural fertilizer (bokashi),” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 951, no. 1, p. 012105, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012105>.
- [16] Y. Zhou, H. Li, W. Guo, H. Liu, and M. Cai, “The synergistic effect between biofertility properties and biological activities in vermicomposting: A comparable study of pig manure,” *J. Environ. Manage.*, vol. 324, p. 116280, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116280>.
- [17] H. Jariwala, R. M. Santos, J. D. Lauzon, A. Dutta, and Y. Wai Chiang, “Controlled

- release fertilizers (CRFs) for climate-smart agriculture practices: a comprehensive review on release mechanism, materials, methods of preparation, and effect on environmental parameters,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 36, pp. 53967–53995, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20890-y>.
- [18] T. Wangmo, S. Dorji, T. Tobgay, and T. Pelden, “Effects of Biochar on Yield of Chilli, and Soil Chemical Properties,” *Asian J. Agric. Extension, Econ. Sociol.*, pp. 64–77, May 2022, doi: <https://doi.org/10.9734/ajaees/2022/v40i930976>.
- [19] N. J. Barrow and A. E. Hartemink, “The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants,” *Plant Soil*, vol. 487, no. 1–2, pp. 21–37, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>.
- [20] N. M. Alzamel, E. M. M. Taha, A. A. A. Bakr, and N. Loutfy, “Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Properties, Growth Yield, and Physiochemical Properties of Sunflower Seeds and Oils,” *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12928, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su141912928>.
- [21] M. W. Kang et al., “Enhancement of soil physical properties and soil water retention with biochar-based soil amendments,” *Sci. Total Environ.*, vol. 836, p. 155746, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155746>.
- [22] S. K. Bello, A. H. Alayafi, S. G. AL-Solaimani, and K. A. M. Abo-Elyousr, “Mitigating Soil Salinity Stress with Gypsum and Bio-Organic Amendments: A Review,” *Agronomy*, vol. 11, no. 9, p. 1735, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091735>.
- [23] P. Mondaca, A. Vergara, A. Velásquez, E. Lobaina, and M. Carvajal, “Comparative Effects of Compost, Bokashi, and Trichoderma on Soil and Tomato Quality in a Mediterranean Area,” *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 25, no. 1, pp. 351–362, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02137-6>.
- [24] S. Dey et al., “Enhancing cation and anion exchange capacity of rice straw biochar by chemical modification for increased plant nutrient retention,” *Sci. Total Environ.*, vol. 886, p. 163681, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163681>.
- [25] M. A. Otieno, H. I. Gitari, B. Danga, and A. N. Karuma, “Soil Properties and Fertility Management with Respect to Capsicum (*Capsicum annum* L.) Production in Nairobi Peri-urban Counties,” *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 22, no. 1, pp. 374–392, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00655-1>.
- [26] H. Bamdad, S. Papari, G. Lazarovits, and F. Berruti, “Soil amendments for sustainable agriculture: Microbial organic fertilizers,” *Soil Use Manag.*, vol. 38,

- no. 1, pp. 94–120, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/sum.12762>.
- [27] J. Xu, E. Mohamed, Q. Li, T. Lu, H. Yu, and W. Jiang, “Effect of Humic Acid Addition on Buffering Capacity and Nutrient Storage Capacity of Soilless Substrates,” *Front. Plant Sci.*, vol. 12, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.644229>.
- [28] C. N. Nikolaou, A. Chatziartemiou, M. Tsiknia, A. G. Karyda, C. Ehaliotis, and D. Gasparatos, “Calcium- and Magnesium-Enriched Organic Fertilizer and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Affect Soil Nutrient Availability, Plant Nutrient Uptake, and Secondary Metabolite Production in Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) Grown under Field Conditions,” *Agronomy*, vol. 13, no. 2, p. 482, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020482>.
- [29] Q. He, J. Qiu, M. Rao, and Y. Xiao, “Leaching Behaviors of Calcium and Aluminum from an Ionic Type Rare Earth Ore Using MgSO₄ as Leaching Agent,” *Minerals*, vol. 11, no. 7, p. 716, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/min11070716>.
- [30] C. Yu, D. J. Geisseler, P. H. Brown, and S. D. S. Khalsa, “Distribution of potassium, calcium, and magnesium ions from potassium fertilizers in columns of orchard soils,” *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 87, no. 3, pp. 572–585, May 2023, doi: <https://doi.org/10.1002/saj2.20535>.
- [31] G. Ma et al., “Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Nutrient Conditions in Rice Fields with Varying Soil Fertility,” *Land*, vol. 12, no. 5, p. 1026, May 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/land12051026>.
- [32] M. G. Mostofa et al., “Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses,” *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 186, pp. 279–289, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.07.011>.
- [33] P. Barłóg, W. Grzebisz, and R. Łukowiak, “Fertilizers and Fertilization Strategies Mitigating Soil Factors Constraining Efficiency of Nitrogen in Plant Production,” *Plants*, vol. 11, no. 14, p. 1855, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/plants11141855>.
- [34] S. Wang et al., “Effects of excessive nitrogen on nitrogen uptake and transformation in the wetland soils of Liaohe estuary, northeast China,” *Sci. Total Environ.*, vol. 791, p. 148228, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148228>.
- [35] N. Aguilar-Rivera, E. Presa-Parra, and E. del Carmen Fernández-Juárez, “Organic amendments as strategies in traditional and conventional agriculture in developing countries,” in *Handbook of Nature-Based Solutions to Mitigation and Adaptation to Climate Change*, Cham: Springer International Publishing, 2024, pp. 1–22. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-98067-2_6-1.

- [36] Y. Li, Q. Shen, X. An, Y. Xie, X. Liu, and B. Lian, “Organomineral fertilizer application enhances *Perilla frutescens* nutritional quality and rhizosphere microbial community stability in karst mountain soils,” *Front. Microbiol.*, vol. 13, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1058067>.
- [37] B. E. Ayamba, R. C. Abaidoo, A. Opoku, and N. Ewusi-Mensah, “Mechanisms for nutrient interactions from organic amendments and mineral fertilizer inputs under cropping systems: a review,” *PeerJ*, vol. 11, p. e15135, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.15135>.
- [38] S. M. YAHAYA, A. A. MAHMUD, M. ABDULLAHI, and A. HARUNA, “Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review,” *Pedosphere*, vol. 33, no. 3, pp. 385–406, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.012>.
- [39] O. Bashir et al., “Soil Organic Matter and Its Impact on Soil Properties and Nutrient Status,” in *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 129–159. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_7.
- [40] A. MASULILI, A. SUYANTO, . S., . M., and . P., “Effect of pineapple skin Bokashi on improvement of soil properties and growth of shallot (*Allium ascalonicum* L.),” *Res. Crop.*, vol. VOLUME 24, no. ISSUE 2 (JUNE), Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-11161>.
- [41] W. Zhuang et al., “Synergistic application of biochar with organic fertilizer positively impacts the soil micro-food web in sandy loam soils,” *Eur. J. Soil Biol.*, vol. 123, p. 103680, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2024.103680>.
- [42] S. J. Ding, X. F. Zhang, W. L. Yang, X. L. Xin, A. N. Zhu, and S. M. Huang, “Soil Nutrients and Aggregate Composition of Four Soils with Contrasting Textures in a Long-Term Experiment,” *Eurasian Soil Sci.*, vol. 54, no. 11, pp. 1746–1755, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1134/S1064229321110041>.
- [43] Z. Niu et al., “Effect of Long-Term Fertilization on Aggregate Size Distribution and Nutrient Accumulation in Aeolian Sandy Soil,” *Plants*, vol. 11, no. 7, p. 909, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/plants11070909>.
- [44] M. Ros, “Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments,” *Soil Biol. Biochem.*, vol. 35, no. 3, pp. 463–469, Mar. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00298-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00298-5).
- [45] K. Huang et al., “Rates of soil respiration components in response to inorganic and organic fertilizers in an intensively-managed Moso bamboo forest,” *Geoderma*, vol. 403, p. 115212, Dec. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115212>.

- [46] H. Luan et al., “Organic amendment increases soil respiration in a greenhouse vegetable production system through decreasing soil organic carbon recalcitrance and increasing carbon-degrading microbial activity,” *J. Soils Sediments*, vol. 20, no. 7, pp. 2877–2892, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02625-z>.
- [47] C. Zhang, Z. Zhao, F. Li, and J. Zhang, “Effects of Organic and Inorganic Fertilization on Soil Organic Carbon and Enzymatic Activities,” *Agronomy*, vol. 12, no. 12, p. 3125, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123125>.
- [48] N. K. Mukhtar, M. N. Azhar, T. H. S. T. A. Bakar, N. Md Zain, T. Abu Bakar, and N. Md Zain, “Assessing The Effects of Microorganisms (EM) and Bokashi on Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) Towards Plant Growth and Yield Performance,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1102, no. 1, p. 012055, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1102/1/012055>.
- [49] D. Kechasov, M. J. Verheul, M. Paponov, A. Panosyan, and I. A. Paponov, “Organic Waste-Based Fertilizer in Hydroponics Increases Tomato Fruit Size but Reduces Fruit Quality,” *Front. Plant Sci.*, vol. 12, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.680030>.
- [50] M. H. G. Ribeiro, K. K. Barros, L. Florencio, W. R. M. Leite, and M. T. Kato, “Nutrient recovery from UASB effluent: impacts on *Capsicum annum* growth, nutrient accumulation, and productivity,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06420-6>.
- [51] T. Stan, N. Munteanu, G.-C. Teliban, A. Cojocar, and V. Stoleru, “Fertilization Management Improves the Yield and Capsaicinoid Content of Chili Peppers,” *Agriculture*, vol. 11, no. 2, p. 181, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11020181>.

Anais Fabiola Fagúndez Benaventa, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Anais Fagúndez es egresada de la carrera de Química en la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Culminó su formación profesional con el desarrollo de su trabajo especial de grado en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente, LIBSA, unidad adscrita al Centro de Investigación y Extensión en Ambiente, Biología y Química, AMBIOQUIM. Su proyecto de investigación se enfocó en el estudio comparativo del efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento y la productividad del cultivo de ají (*Capsicum annum*), con el propósito de evaluar alternativas sostenibles para mejorar la calidad de los suelos agrícolas y optimizar la producción hortícola.

Anais Fagúndez is a graduate of the Chemistry program at the Experimental Faculty of Science and Technology at the University of Carabobo, Venezuela. She completed her professional training by carrying out her special degree project at the Laboratory of Biochemical, Soil

and Environmental Research (LIBSA), a unit attached to the Research and Extension Center for Environment, Biology, and Chemistry (AMBIOQUIM). Her research project focused on a comparative study of the effect of organic and inorganic fertilization on the growth and productivity of chili pepper (*Capsicum annum*) crops, with the aim of evaluating sustainable alternatives to improve agricultural soil quality and optimize horticultural production.

Minerva Márquez, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Minerva Márquez es Química egresada de la Facultad Experimental de Ciencia y Tecnología, FACYT, de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Actualmente, cursa estudios doctorales en Química Tecnológica en FACYT-UC y realiza su investigación en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelo y Ambiente, LIBSA. Su especialización abarca los parámetros microbiológicos de sustratos agrícolas elaborados con residuos orgánicos, con el objetivo de mejorar la calidad del suelo. Su trabajo promueve prácticas agrícolas sostenibles, reduciendo la dependencia de insumos químicos y fomentando la salud del suelo mediante el uso optimizado de residuos orgánicos.

Minerva Márquez holds a degree in Chemistry from the Faculty of Experimental Science and Technology, FACYT, at the University of Carabobo, Venezuela. She is currently pursuing a PhD in Technological Chemistry at FACYT-UC, conducting research at the Biochemical Research Laboratory, Soil, and Environment, LIBSA. Her research focuses on microbiological parameters of agricultural substrates made from organic wastes to improve soil quality. Her work promotes sustainable agricultural practices, reducing chemical input reliance and enhancing soil health through optimized use of organic waste.

Henry Baloy Porras, Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez, UPTMKR. Mérida, Venezuela.

Henry Baloy Porras es un científico y académico venezolano especializado en ciencia del suelo y agroecología. Se graduó en la Universidad de Los Andes, ULA, de Venezuela con un título en educación. Además de su labor como profesor en el Ministerio del Poder Popular para la Educación, ha compartido sus conocimientos sobre nutrición animal y alimentación en eventos académicos como las V Jornadas de rumiantes. Ha trabajado también con organizaciones como el Politécnico Santiago Mariño en Mérida, Venezuela, contribuyendo al avance de esfuerzos científicos y académicos. Su participación en discusiones científicas, como la organizada por Fundacite Yaracuy, donde habló sobre el uso de la investigación-acción en el ámbito agroecológico, resalta su compromiso con la investigación y la enseñanza agroecológica. Actualmente, sigue realizando investigaciones, con un enfoque en la salud del suelo y en métodos de agricultura sostenible.

Henry Baloy Porras is a Venezuelan scientist and academic specializing in soil science and agroecology. He graduated from the University of Los Andes (ULA) in Venezuela with a degree in education. In addition to his work as a professor at the Ministry of Popular Power for Education, he has shared his knowledge of animal nutrition and feeding at academic events such as the 5th Ruminant Conference. He has also worked with organizations such as the Santiago Mariño Polytechnic Institute in Mérida, Venezuela, contributing to the advancement of scientific and academic efforts. His participation in scientific discussions, such as the one organized by

Fundacite Yaracuy, where he spoke about the use of action research in the agroecological field, highlights his commitment to agroecological research and education. He is currently continuing his research, focusing on soil health and sustainable farming methods.

Carlos Humberto Aguas Changoluisa, Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico “Alpachaca” Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador.

Carlos Humberto Aguas Changoluisa es un destacado académico con una trayectoria en el ámbito educativo y de investigación. Es Máster Universitario en formación del profesorado de educación secundaria, con especialidad en Física y Química, por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED, y cuenta con un Magíster en Gerencia Educativa y un Diploma Superior en Gestión y Planificación Educativa por la Universidad Estatal de Bolívar. Asimismo, obtuvo el título de Doctor en Ciencias de la Educación, especializado en Administración y Supervisión Educativa por la Universidad Cooperativa de Colombia del Ecuador. Como Licenciado en Ciencias de la Educación, especializado en Matemática y Física por la Universidad Central del Ecuador.

Carlos Humberto Aguas Changoluisa is a distinguished academic with a career in education and research. He holds a Master’s Degree in Secondary Education Teacher Training, specializing in Physics and Chemistry, from the National University of Distance Education (UNED), as well as a Master’s Degree in Educational Management and a Graduate Diploma in Educational Management and Planning from the State University of Bolívar. He also earned a Doctorate in Educational Sciences, specializing in Educational Administration and Supervision, from the Cooperative University of Colombia in Ecuador. In addition, he holds a Bachelor’s Degree in Educational Sciences, specializing in Mathematics and Physics, from the Central University of Ecuador.


Arnaldo José Armado Matute, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Arnaldo José Armado Matute es profesor e investigador de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Se ha desempeñado como Director de Ambioquim, Coordinador del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelo y Ambiente (LIBSA), y Director Ejecutivo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH-UC). Su línea de investigación se centra en la ecotoxicología, con énfasis en la evaluación del impacto de metales pesados sobre la calidad de suelos y aguas, así como en la diversidad bacteriana edáfica. Además, desarrolla estudios en la formulación de fertilizantes orgánicos, sustratos biofertilizantes y extractos naturales con propiedades insecticidas y repelentes. Ha colaborado en investigaciones relacionadas con la contaminación por metales y su influencia sobre parámetros bioquímicos y biológicos del suelo, aportando soluciones sostenibles para el manejo ambiental y la agricultura.

Arnaldo José Armado Matute is a professor and researcher at the University of Carabobo, Venezuela. He has served as Director of Ambioquim, Coordinator of the Biochemical, Soil and Environmental Research Laboratory (LIBSA), and Executive Director of the Council for Scientific and Humanistic Development (CDCHUC). His research focuses on ecotoxicology, with an emphasis on assessing the impact of heavy metals on soil and water quality, as well as on soil bacterial diversity. Additionally, he conducts studies on the formulation of organic fertilizers, biofertilizer substrates, and natural extracts with insecticidal and repellent properties.

Efectos de la fertilización orgánica e inorgánica sobre variables agroproductivas y composición química del pasto bermuda, *Cynodon dactylon* L. Pers.

Effects of organic and inorganic fertilization on agro-productive variables and chemical composition of Bermuda grass, *Cynodon dactylon* L. Pers.

Daniel Loreto Amoretti*¹ ; Arnaldo José Armado Matute² ; Darwin Alberto Núñez Torres³  y Henry Baloy Porras*⁴ .

¹Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. tjloreto@hotmail.com

²Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. aarmado@uc.edu.ve

³Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador. <https://ror.org/005cgg117>. danunez@ueb.edu.ec

⁴Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez, UPTMKR. Mérida, Venezuela. porrasbaloy@gmail.com

*Autor para correspondencia: porrasbaloy@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.3>

Resumen

En la producción de bovinos y caprinos la alimentación es la que mayor impacto tiene en los costos de producción siendo el forraje la principal fuente de alimento en los sistemas de producción. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la aplicación de diversos fertilizantes orgánicos e inorgánicos en el suelo y su rendimiento en un cultivo de pasto bermuda mediante un estudio bromatológico. Para ello se dividió una parcela de una finca ubicada en el estado Cojedes, Venezuela en 15 bloques donde se aplicó por triplicado cada uno de los tratamientos, entre ellos, urea, Agrodol, Agrocel, Agrodol con Agrocel, y el control. Para la bromatología, los valores de proteína oscilaron entre (6,57-20,03) %, la materia fresca entre (1000-3750) Kg/Ha, la materia seca entre (11,6-35,0) % y el grado de ceniza entre (8,67-22,05) %. Tras contrastar los resultados mediante un análisis estadístico empleando el programa IBM SPSS Statistics 26 se evidenció una respuesta positiva en el rendimiento del pasto y significativamente favorable en los tratamientos orgánicos sobre los inorgánicos, específicamente los tratamientos II (Agrodol) y el tratamiento IV (Agrodol con Agrocel).

Palabras clave: almacenamiento de carbono en el suelo; degradación del suelo; gestión sostenible del suelo; prácticas agrícolas.

Citación sugerida: Loreto D.; Armado A.; Núñez D. y Baloy H. (2025). Efectos de la fertilización orgánica e inorgánica sobre variables agroproductivas y composición química del pasto bermuda, *Cynodon dactylon* L. Pers.. En *Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos* (pp. 64–84). Colección seriada: *Glebe*, 1(1). <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.3>.



Abstract

In the production of cattle and goats, feeding has the greatest impact on production costs, with forage being the main source of food in production systems. The objective of this study was to evaluate the effects of applying various organic and inorganic fertilizers to the soil and their impact on yield Bermuda grass crop through a bromatological study. To do this, a plot of land located in the Cojedes state, Venezuela, was divided into 15 blocks, where each of the treatments was applied in triplicate, including urea, Agrodol, Agrocel, Agrodol with Agrocel, and the control. For the bromatological analysis, the protein values ranged from 6.57 % to 20.03 %, fresh matter ranged from 1000 to 3750 kg/ha, dry matter ranged from 11.6 % to 35.0 %, and the ash content ranged from 8.67 % to 22.05 %. After contrasting the results through a statistical analysis using IBM SPSS Statistics 26, a positive response in grass yield was observed, significantly favorable in the organic treatments over the inorganic ones, specifically treatments II (Agrodol) and IV (Agrodol with Agrocel).

Keywords: agricultural practices; soil carbon storage; soil degradation; sustainable soil management.

Introducción

Los pastos son una fuente de componentes esenciales, accesibles y económicos en la producción ganadera, que generalmente se utiliza en el sector ganadero para la alimentación de los animales. Sin embargo, para obtener el mejor beneficio de éstos, es necesario que sean de buena calidad nutritiva. Las especies forrajeras han tenido un gran impacto en climas cálidos, por ser un alimento de costo muy bajo, así como también por su aporte en cuanto a los requerimientos proteínicos en la dieta animal [1].

La fertilización de cultivos ha sido históricamente basada en las respuestas de rendimiento frente a nutrientes específicos, como nitrógeno, N, fósforo, P, y potasio, K, con el objetivo de determinar dosis óptimas para maximizar la producción. Sin embargo, esta aproximación tradicional, sustentada en pruebas de suelo y centrada en la disponibilidad de nutrientes, ha demostrado limitaciones significativas, como la sobre aplicación de fertilizantes y sus efectos adversos sobre el medio ambiente. En este contexto, se han propuesto nuevas estrategias basadas en diagnósticos dinámicos del estado nutricional de las plantas, como el concepto de la “curva de dilución crítica de N”. Estas herramientas permiten ajustar la fertilización de forma precisa y en tiempo real, alineando la oferta de nutrientes con la demanda específica del cultivo [2].

Para un manejo y desarrollo de los cultivos, la fertilización es importante ya que,

dependiendo de requerimientos nutricionales y de condiciones edáficas, se recomienda abonar totalmente al momento de la siembra o de forma fraccionada (reabonos), a fin de lograr mayor absorción de nutrimentos (en especial el nitrógeno, por ser altamente móvil en su forma inorgánica), poder cubrir con mayor eficiencia la demanda nutricional y obtener los mejores rendimientos a la cosecha [3].

La gestión agrícola desempeña un papel determinante en los procesos y funciones del suelo, influyendo directamente en su productividad y sostenibilidad. El surgimiento de nuevas prácticas de manejo, impulsadas por restricciones biofísicas y avances tecnológicos, plantea desafíos importantes debido a sus impactos desconocidos en el funcionamiento del suelo. Estas incertidumbres limitan la capacidad para evaluar su contribución al paradigma de intensificación sostenible, que busca satisfacer la creciente demanda de alimentos y productos no alimentarios sin comprometer la calidad ambiental. En el contexto de la intensificación sostenible, el manejo del suelo se orienta a incrementar la productividad agrícola al tiempo que se preservan o mejoran funciones esenciales como el almacenamiento de carbono y el mantenimiento de hábitats biológicos [4].

El manejo sostenible de los suelos agrícolas es un desafío prioritario en el contexto de la creciente demanda de alimentos y la necesidad de mitigar los impactos ambientales derivados de prácticas agrícolas intensivas. Los suelos, como componente principal de los ecosistemas terrestres, desempeñan un papel importante en la producción agrícola puesto que funcionan como almacenamiento de carbono y regulador de los ciclos biogeoquímicos. Sin embargo, la degradación de su calidad, ocasionada por el uso excesivo de fertilizantes químicos, promueven la pérdida de materia orgánica y el deterioro estructural, al tiempo que pone en riesgo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y con ello la seguridad alimentaria global [5], [6].

El manejo de fertilización desempeña un papel importante en la productividad y calidad de los cultivos, impactando también las propiedades del suelo y la sostenibilidad del sistema agrícola. En estudios recientes, se ha demostrado que los fertilizantes orgánicos, como compost combinado con biofertilizantes y subproductos agroindustriales como la torta de filtro, mejoran los rendimientos de semillas y biomasa, y promueven características químicas y físicas favorables en los cultivos, en comparación con los fertilizantes inorgánicos [7].

En este marco, surge la necesidad de implementar estrategias basadas en la aplicación de tratamientos químicos y orgánicos que permitan restaurar y mantener la fertilidad del suelo. Estudios recientes han explorado la efectividad de estas intervenciones, evaluando parámetros clave como el rendimiento de cultivos, el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y otros indicadores de salud edáfica.

Este trabajo se centró en el análisis comparativo de tratamientos químicos y orgánicos en suelos agrícolas, con énfasis en su impacto sobre la productividad y la calidad del suelo. Utilizando datos recopilados en estudios previos y ensayos experimentales realizados en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente, LIBSA, se buscó identificar las mejores prácticas para maximizar el rendimiento agrícola de manera sostenible. Además, se abordó la relación costo-beneficio de las diferentes estrategias, subrayando la importancia de adoptar enfoques integrales que combinen efectividad económica y ambiental.

Metodología

Cultivo de pasto Bermuda

Se realizó un cultivo de pasto Bermuda en una parcela de una finca ubicada en el municipio Tinaco, sector La Villeguera Estado Cojedes, Venezuela, en las coordenadas 9°41'49"N 68°28'14"W, a los cuales se les realizó una fertilización orgánica e inorgánica.

Se dividió la parcela en bloques experimentales de 10x10m y por triplicado de cada tratamiento, dando un total de 15 bloques experimentales, distribuidos bajo un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. En la Tabla 1 se muestran el esquema de los tratamientos.

Tabla 1: Esquema y metodología de la fertilización.

Tratamiento	Tipo de fertilización	Número de aplicaciones	Momento de la aplicación	Dosis
I	Urea	2	Al momento del arraigo 30 días luego del arraigo	1 kg disuelto en agua 2 kg aplicado al voleo
II	Agrodol	2	Al momento del arraigo 30 días luego del arraigo	4 kg por aplicación
III	Agrocell	2	Al momento del arraigo y 30 días luego del arraigo	4 kg por aplicación
IV	Agrocell + Agrodol	1 Agrocell	30 días previo a la siembra	2 kg
		2 Agrodol	Al momento del arraigo 30 días luego del arraigo	2 kg por aplicación
V	Control	0	No hubo aplicación	0

Arraigo: cuando emergen las primeras hojas verdes.

Los cuales consistieron en:

- Tratamiento I: Fertilización inorgánica: urea, 200 kg/ha, dos aplicaciones.

- Tratamiento II: Fertilización orgánica: con Agrodol, 266 kg/ha, dos aplicaciones.
- Tratamiento III: Fertilización orgánica: con Agrocel, 266 kg/ha, dos aplicaciones.
- Tratamiento IV: Fertilización orgánica: combinación de Agrodol, 133 kg/ha y Agrocel, 133 kg/ha, dos aplicaciones.
- Tratamiento V: Control, sin fertilización.

Fertilizantes

Se empleó como fertilizante inorgánico urea disponible comercialmente, y para la fertilización orgánica Agrodol y Agrocel, suministrados por la empresa PROMIVECA, cuya composición se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Composición de los fertilizantes orgánicos empleados.

Composición química	Agrodol	Agrocel
Materia orgánica, %	56	60
Ácido húmico, %	18 - 19	9 - 10
Ácido fúlvico, %	0,5 - 1	0,25 - 0,5
Humedad, %	10 - 12	10 - 12
Contenido de nitrógeno, N, %	5 - 6	2 - 3
Contenido de fósforo, P ₂ O ₅ , %	2 - 4	1 - 2
Contenido de potasio, K ₂ O, %	2 - 3	1 - 2
Contenido de calcio, CaO, %	10 - 12	5 - 6
Contenido de magnesio, MgO, %	5 - 6	2 - 3

Muestras de suelo

Se recolectaron muestras antes del establecimiento del cultivo y al finalizar el experimento para determinar las características fisicoquímicas del suelo.

La toma de muestra inicial (previa a la división de los bloques), consistió en un muestreo aleatorio en zigzag a lo largo del área total en estudio (2000 m² aproximadamente), tomando 7 muestras simples que se mezclaron para formar una muestra compuesta, que se analizó para obtener los valores de las propiedades fisicoquímicas iniciales del suelo.

La segunda toma de muestras de suelo se realizó al finalizar el experimento, posterior a la cosecha del tercer corte de pasto. Se realizó un muestreo aleatorio, estratificado, tomando tres (3) puntos de muestreo (muestras simples) dentro de cada bloque experimental alcanzando nueve (9) muestras simples, las cuales fueron mezcladas para constituir una muestra compuesta por cada tratamiento. De esta manera las cinco (5) muestras

compuestas se analizaron para conseguir la variación de las propiedades fisicoquímicas por tratamiento.

Para ambas tomas de muestras, la profundidad fue de 0 - 20 cm en cada punto de muestreo. Las muestras fueron secadas al aire durante 72 horas, y almacenadas a temperatura ambiente en bolsas de polietileno cerradas, hasta su análisis.

Determinación de propiedades fisicoquímicas del suelo

En la tabla 3 se hace referencia a los métodos empleados en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del suelo que incluyeron análisis de pH, conductividad eléctrica, contenido de humedad, capacidad de retención de humedad, materia orgánica, nitrógeno amoniacal, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables (Ca^{2+} y Mg^{2+}).

Tabla 3: Metodologías empleadas en el análisis fisicoquímico de las muestras de suelos.

Propiedad fisicoquímica	Método	Referencia
pH	Método potenciométrico, relación 1:2 suelo: agua.	[8]
Conductividad eléctrica, mS/m	Método conductimétrico, relación 1:5 suelo: agua.	[9]
Materia orgánica, %	Perdidas por ignición (calcinación durante 50 minutos a 450 °C en una mufla).	[10]
Humedad, %	Método gravimétrico. Se somete la muestra a 105 °C en estufa durante 24 h.	[11]
Retención de humedad, %	Método gravimétrico. Cada muestra se coloca en un embudo, con un tapón de lana de vidrio previamente pesado, adicionando agua destilada a cada muestra hasta observar goteo y dejando reposar a temperatura ambiente. Tras 24 horas de haber hecho el montaje, se procedió a pesar cada muestra.	[12]
Nitrógeno amoniacal, N, %	Extracción con cloruro de potasio, con posterior reacción colorimétrica con salicilato/hidróxido, usando como agente oxidante dicloroisocianurato de sodio, medición la absorbancia a 690 nm.	[13]
Fósforo disponible, P_2O_5 , %	Método de Olsen (extracción con NaHCO_3 0,5 M pH: 8,5). Cuantificación mediante reacción con molibdato de amonio en medio ácido, usando ácido ascórbico y tartrato de antimonio y potasio.	[14]
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), cmol/kg	Extracción con NH_4Cl 1 N a pH 7. Posterior cuantificación de Ca y Mg en el filtrado, mediante método complejométrico con EDTA. Segundo lavado del suelo con solución de NaCl, y cuantificación de la CIC por titulación con NaOH.	[15]
Calcio intercambiable, cmol/kg		[16]
Magnesio intercambiable, cmol/kg		

Muestreo del cultivo

Se tomaron las muestras de pasto cada 3 semanas, dando un total de 3 cortes de pasto. Las muestras recolectadas se analizaron para determinar: contenido de proteína, contenido de cenizas, materia verde y materia seca.

Para la toma de muestra de pasto, se utilizó un marco metálico de área conocida (1 m²), el cual se arrojó para seleccionar tres puntos de muestreo en forma aleatoria, en cada uno de los bloques experimentales. En cada punto, se recortó todo el pasto que estuviera dentro del marco metálico (dejando de 3 - 4 cm de altura), con una tijera de jardinería. Los tres cortes se recolectaron en una bolsa de polietileno con pequeños orificios para evitar acumulación de humedad. Se identificó cada bolsa y se pesaron de inmediato, para el cálculo de la materia fresca [17]. Luego se trasladaron al laboratorio, para su posterior análisis. Este proceso se repitió para cada uno de los bloques experimentales, establecidos en el esquema de fertilización.

Análisis bromatológico del pasto bermuda

Para determinar las características nutritivas del pasto y su calidad se realizó un análisis bromatológico donde se midió materia fresca, materia seca, grado de ceniza y contenido de proteína.

Para la determinación de materia seca, se pesaron 50 g de materia fresca y se colocaron en una bandeja, para posteriormente ser calentada en una estufa con circulación forzada de aire a 60 - 65 °C por un lapso de 72 horas. Una vez transcurrido el tiempo se sacó la muestra de la estufa, se pesó, y se determinó la materia seca en porcentaje por diferencia de peso con la materia fresca [18]. Este procedimiento se realizó para cada una de las bolsas obtenidas del análisis de materia fresca.

Para la determinación del grado de cenizas, se tomó una porción exactamente pesada de la muestra obtenida en la determinación de materia seca, en un crisol de porcelana o platino (resistente a altas temperaturas) utilizando una mufla a temperaturas entre 500 y 600 °C durante 24 horas aproximadamente. El análisis se dio por terminado cuando el residuo estuvo libre de partículas carbonosas (de color negro) y las cenizas presentaron un color blanco o gris uniforme. Entonces, el crisol con las cenizas se dejó enfriar en desecadora y se pesó en balanza analítica hasta peso constante [8].

Para el análisis de proteína en el pasto, se realizó inicialmente un pretratamiento. Para ello, se utilizaron muestras procedentes del análisis de materia seca, las cuales se molieron a un tamaño de partícula de 1mm. Se realizó una extracción, utilizando como agente extractante hidróxido de calcio a pH 12, con una relación 1:15 (muestra: agente extractante) en un

Erlenmeyer en baño de maría con agitación constante. El extracto obtenido, se filtró con bomba de vacío y los sólidos se lavaron con 10 mL de agua destilada. El extracto y lavados se unieron y se almacenaron en nevera (4 °C) durante 24 horas. Posteriormente se centrifugaron durante 30 min. Una vez transcurrido el tiempo se filtró el sobrenadante por decantación sobre un embudo con papel de filtro. El filtrado se utilizó para determinar las proteínas utilizando el método de Lowry modificado [19].

Análisis económico

Se estimó el costo total por hectárea para cada tratamiento considerando los insumos (fertilizantes), mano de obra, y relación costo/beneficio.

Estadística

Se empleó el software IBM SPSS Statistics 26 para realizar un análisis de varianza, ANOVA, y pruebas post hoc, Shapiro-Wilk, con un nivel de confianza del 95 % [20]. Adicionalmente se realizó el análisis de Kruskal-Wallis para comparar las distribuciones de los tratamientos del I al V.

Resultados y discusión

Textura del suelo

La composición del suelo fue un aspecto importante en la evaluación de los tratamientos aplicados, identificándose como un suelo predominantemente arenoso con un 99 % de arena. Esta característica tiene implicaciones determinantes en cuanto a la disponibilidad de nutrientes y en la capacidad del suelo para retener agua. Por su naturaleza, los suelos arenosos presentan una baja capacidad de retención hídrica y de nutrientes, lo que puede afectar de manera considerable tanto el crecimiento de las plantas como la actividad microbiana [21].

Proteína en el pasto

Los niveles de proteína en el pasto variaron significativamente según los tratamientos y las condiciones de manejo del suelo, destacándose la interacción entre el microbiota y los nutrientes disponibles como un factor determinante. En la Figura 1 se observa la variabilidad en el contenido de proteínas para cada corte.

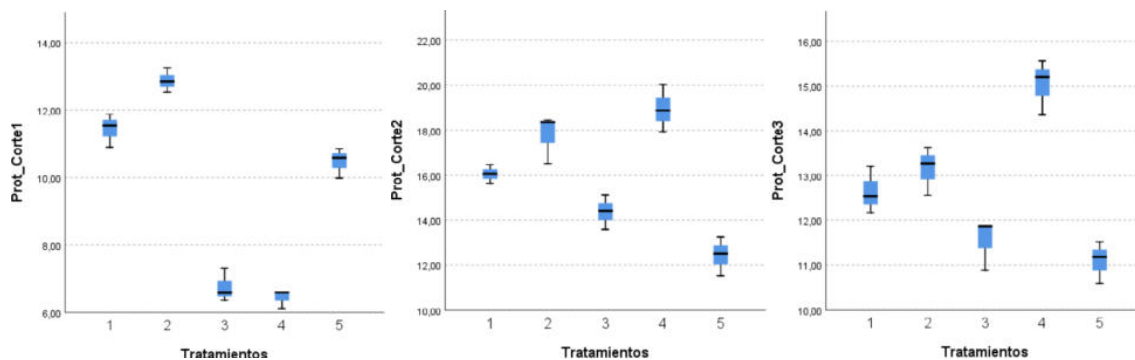


Figura 1. Prueba de Kruskal-Wallis para el análisis de proteínas (%) en el cultivo de pasto bermuda.

En el primer corte, los tratamientos III y IV, que incorporaron celulosa, mostraron contenidos proteicos más bajos (6,7 % y 6,9 %, respectivamente), en comparación con el tratamiento V (10,4 %), que no incluyó fertilización. Esto sugiere que el microbiota del suelo consumió una parte considerable de los nutrientes disponibles para procesar la celulosa, limitando su disponibilidad para el pasto [22].

Por el contrario, los tratamientos I y II, con fertilización inicial, alcanzaron niveles más altos de proteínas, resaltando la importancia de la disponibilidad inicial de nutrientes. Además, hay evidencia estadística significativa para afirmar que el tratamiento II tuvo mejor rendimiento que el tratamiento I, esto podría deberse entre otras cosas al pH del suelo, tema que se tocará más adelante en la discusión.

Con el tiempo, en los cortes 2 y 3, se evidenció una recuperación en los tratamientos con celulosa, lo que puede atribuirse a la estabilización de la población microbiana y a la liberación de nutrientes provenientes de la descomposición de materia orgánica. Este fenómeno reflejó una dinámica competitiva que evoluciona hacia un equilibrio, permitiendo una mejora en los niveles proteicos del pasto [23], [24].

Por otro lado, el tratamiento V a pesar de no contar con fertilización, no sufrió este comportamiento competitivo, lo que permitió al pasto acceder a una mayor proporción de los nutrientes disponibles y por ende tener un rendimiento proteico superior a los tratamientos III y IV, pero menor a los tratamientos I y II.

La competencia por nutrientes es un proceso donde diferentes organismos, incluyendo plantas y microorganismos, compiten por el acceso a los nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio. En suelos arenosos, esta competencia puede ser aún más aguda debido a la lixiviación de nutrientes, lo que deja menos recursos disponibles para las plantas y microorganismos.

La mejora observada en los niveles de proteína en los cortes 2 y 3 para el tratamiento

IV sugiere que, con el tiempo, las plantas pudieron superar la competencia inicial por los nutrientes. Es posible que la microbiota haya alcanzado un equilibrio en el suelo, permitiendo que los nutrientes fueran utilizados de manera más eficiente tanto por la microbiota como por las plantas. Este fenómeno se alinea con estudios que indican que, tras un período de competencia inicial, los ecosistemas suelo-planta tienden a alcanzar un estado de equilibrio donde ambos componentes pueden coexistir y prosperar [23], [25].

Esto pone en relieve la complejidad de las interacciones suelo-planta-microbiota y su impacto en el valor nutritivo del pasto, destacando la necesidad de estrategias de manejo adaptadas.

Materia fresca

El análisis de biomasa, centrado en la materia fresca, mostró una tendencia general hacia un mayor rendimiento en el tratamiento I, particularmente en el corte 1, aunque sin diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) frente a los demás tratamientos. En el corte 2, sin embargo, se registraron diferencias significativas entre los tratamientos, destacándose el tratamiento I por su rendimiento superior frente a los tratamientos restantes. En el corte 3, el tratamiento I continuó mayores valores en comparación con los tratamientos III y IV, aunque sin diferencias significativas frente al tratamiento II.

En cuanto al nivel de biomasa, particularmente materia fresca se puede ver una tendencia a un mayor rendimiento para el tratamiento I. No obstante, en la Figura 2, se puede apreciar para el corte 1, que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

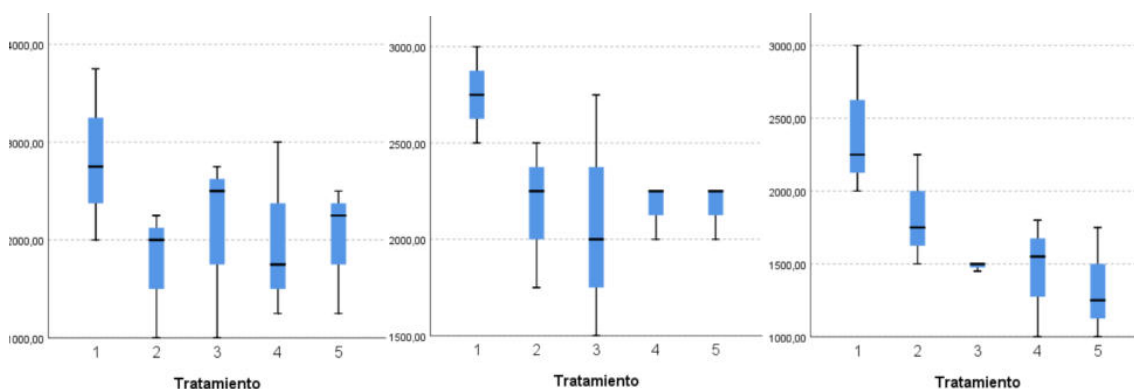


Figura 2. Prueba de Kruskal-Wallis para el análisis de materia fresca (kg/Ha) en el cultivo de pasto Bermuda.

En el corte 2, se encontró diferencia significativa entre tratamientos. Para los tratamientos I, II y III no existió diferencia significativa, mientras que los tratamientos IV y V sí presentaron diferencia significativa respecto al tratamiento I.

En el corte 3 se mantiene la tendencia del tratamiento I a mayor rendimiento, aunque no tuvo diferencia estadísticamente significativa respecto al tratamiento II, sí la tiene con los tratamientos III, IV y V, mientras no existieron diferencias significativas entre los tratamientos II, III, IV y V.

Materia seca

En el corte 1, la tendencia observada se invirtió respecto a los análisis de materia fresca. El tratamiento I presentó el menor rendimiento en porcentaje de materia seca, aunque sin diferencias estadísticamente significativas frente a los tratamientos II y IV, pero sí frente a los tratamientos III y V. Por el contrario, el tratamiento II mostró una tendencia a un mayor porcentaje de materia seca, sugiriendo menor contenido de agua, pero mayor concentración de componentes orgánicos e inorgánicos. Sin embargo, en los cortes posteriores, los comportamientos no se mantuvieron constantes y no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. En este contexto, los tratamientos no influyeron significativamente en el porcentaje de materia seca del pasto.

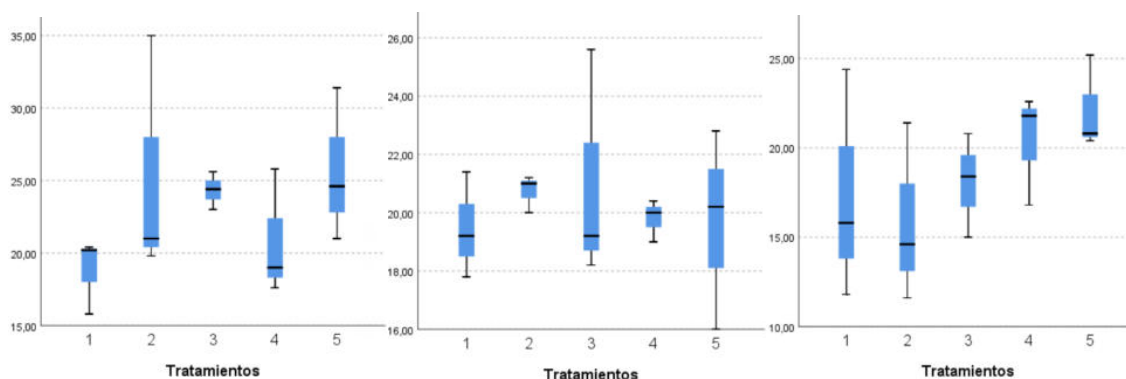


Figura 3. Prueba de Kruskal-Wallis para el análisis de materia seca (%) en el cultivo de pasto Bermuda.

Grado de ceniza

El grado de ceniza, indicador de la cantidad de minerales o material inorgánico en el tejido vegetal, presentó variaciones significativas entre cortes y tratamientos, como se muestra en la Figura 4.

En el primer corte, los valores oscilaron entre 10% y 20%, con mayor dispersión en los tratamientos III y V, siendo este último el que registró los valores más altos. Este comportamiento podría atribuirse a una mayor absorción de minerales en las etapas iniciales de crecimiento, influenciada por la fertilización y la heterogeneidad del suelo. La alta variabilidad observada sugiere diferencias en la acumulación de minerales no esenciales, especialmente en el tratamiento V, que destacó por su rango más amplio.

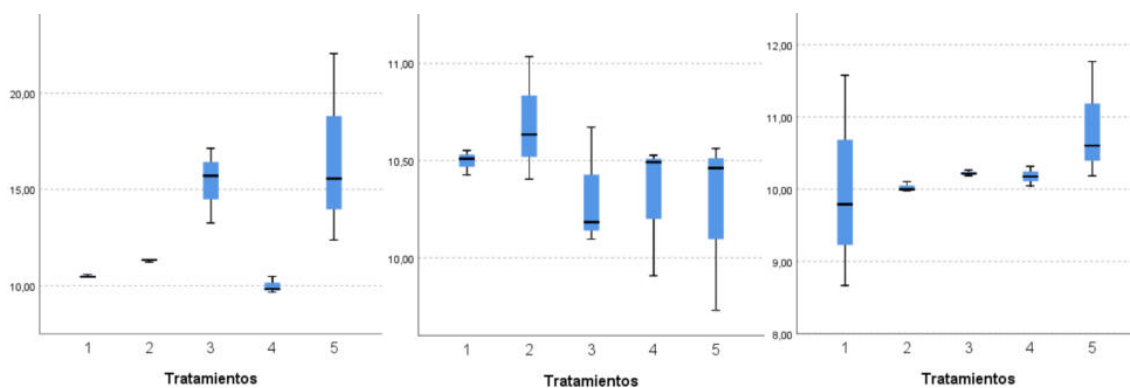


Figura 4. Prueba de Kruskal-Wallis para el análisis de grado de ceniza (%) en el cultivo de pasto Bermuda.

En el segundo corte, aunque el tratamiento II mostró un ligero incremento en el contenido de ceniza, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. En este corte, el contenido de cenizas disminuyó (entre 9% y 11%). El tratamiento V continuó destacándose con valores más elevados, posiblemente debido a la limitada eficiencia en el reciclaje de nutrientes en ausencia de fertilización.

Con esto en consideración, se puede sostener la idea de que la disponibilidad de minerales en el suelo juega un papel importante en el comportamiento de los tratamientos, incluso cuando las diferencias no son significativas desde un punto de vista estadístico.

En suelos arenosos, como los de este estudio, la mineralización natural puede contribuir a que las plantas en el tratamiento III y V absorban minerales disponibles de forma natural, lo que ayuda a explicar el contenido de cenizas en el tratamiento I. Sin embargo, la disminución del contenido de cenizas en el segundo corte podría estar relacionada con dos factores clave. Primero, el efecto residual del crecimiento en el primer corte: las plantas podrían haber absorbido una mayor cantidad de minerales durante el primer corte, lo que habría reducido la disponibilidad de estos para el segundo corte. En segundo lugar, la lixiviación podría haber resultado en la pérdida de una parte significativa de los minerales en el intervalo entre cortes, afectando la disponibilidad para el segundo corte.

Por lo tanto, en este corte, aunque no hay diferencias significativas entre los tratamientos, se puede apreciar una tendencia en la que los tratamientos orgánicos y el control parecen estar aprovechando diferentes mecanismos de absorción y mineralización, lo que justifica los valores observados.

En el tercer corte, los valores siguen siendo bajos, similares al segundo corte (de 9% a 12%) como se ve en la figura 4, siendo más bajo que los del primer corte. Esto sugiere que el contenido de cenizas disminuye con el tiempo, lo que podría ser un reflejo de la eficiencia en el uso de los nutrientes, y una menor acumulación de minerales no esenciales a medida que las plantas han pasado por varias fases de absorción de nutrientes.

Potencial de hidrógeno, pH, y disponibilidad de bases intercambiables

El pH del suelo influye significativamente en la disponibilidad de cationes como calcio y magnesio, debido a su efecto sobre la solubilidad de estos nutrientes. Los tratamientos III, IV y V mostraron un pH de 6,3-6,4, considerado óptimo para la disponibilidad de cationes. Sin embargo, los resultados indican que el calcio alcanzó sus mayores concentraciones en los tratamientos I y II (pH 5,0 - 5,8), mientras que el magnesio predominó en los tratamientos III, IV y V, siendo mayor en el tratamiento III y menor en el V, aunque sin diferencias significativas entre los tratamientos IV y V.

Este comportamiento puede explicarse por la lixiviación característica de suelos arenosos, donde el calcio, al ser más soluble, es fácilmente arrastrado en tratamientos con pH más neutro. En contraste, en condiciones más ácidas (tratamientos I y II), la menor solubilidad del calcio pudo reducir su lixiviación. Además, la competencia catiónica podría haber favorecido al magnesio en los tratamientos III, IV y V, donde su mayor concentración pudo ocupar sitios de intercambio catiónico, limitando la retención del calcio.

Capacidad de intercambio catiónico, CIC

La capacidad de intercambio catiónico, CIC, es un indicador que afecta la fertilidad del suelo, ya que representa la capacidad para retener y liberar cationes como Ca^{2+} y Mg^{2+} , requeridos para el desarrollo vegetal. En suelos arenosos, la CIC suele ser baja debido a la escasez de material orgánico y la limitada capacidad de adsorción de cationes de las partículas de arena. En este estudio, los tratamientos II y IV presentaron los valores más altos de CIC, siendo mayor en el tratamiento IV, mientras que los tratamientos I, III y V mostraron valores más bajos y sin diferencias significativas entre ellos. Esta mayor CIC en el tratamiento IV explica en parte su mejor desempeño en el nivel de proteína del pasto, al indicar una mayor disponibilidad de nutrientes. No obstante, aunque el tratamiento IV mostró la CIC más alta, se mantuvo entre 7-15 meq/100g, característica común en suelos arenosos [26].

Materia orgánica

La materia orgánica es un componente clave del suelo, ya que mejora tanto la capacidad de retención de humedad como la CIC. En este estudio, aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos I al V, el tratamiento IV mostró una leve tendencia hacia valores más altos, con una concentración promedio cercana al 6%. En comparación, los demás tratamientos presentaron niveles inferiores. Este comportamiento sugiere que la combinación de Agrodol con Agrocel (tratamiento IV) pudo haber favoreciendo la retención de nutrientes. La correlación observada entre el mayor CIC y el ligero incremento en materia orgánica podría ser un factor determinante

para explicar la mayor disponibilidad de nutrientes en este tratamiento, lo que permitió mantener un mejor desempeño durante el ciclo de crecimiento del pasto.

Capacidad de retención de humedad

La capacidad de retención de humedad del suelo es un factor que puede afectar el desarrollo de las plantas, especialmente en suelos arenosos con drenaje rápido. Los niveles más bajos de retención de humedad se observaron en el tratamiento I, que mostró una diferencia significativa respecto a los demás tratamientos, excepto el V. En contraste, los tratamientos III y IV presentaron los niveles más altos de retención de humedad, sin diferencias significativas entre ellos y los tratamientos II y V. Los tratamientos III y IV pudieron haber mejorado la distribución del agua en el perfil del suelo, extendiendo el acceso de las raíces a los nutrientes disponibles.

Nitrógeno amoniacal

El tratamiento con fertilización inorgánica, aunque efectivo para proporcionar un suministro rápido de nutrientes, no parece ser suficiente para optimizar el desarrollo del pasto en suelos con limitaciones físicas como los arenosos. En cuanto al nitrógeno amoniacal, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que los niveles de nitrógeno no fueron sustancialmente influenciados por los distintos tratamientos aplicados. No obstante, se observó una tendencia hacia una mayor concentración de nitrógeno en el tratamiento II, aunque esto no se tradujo en un mayor nivel de proteínas en el pasto.

Fósforo disponible

El tratamiento I presentó una alta concentración de fósforo, a pesar de tener un pH más ácido (pH 5), la baja cantidad de arcillas y materia orgánica en el suelo arenoso impidió que el fósforo se inmovilizara completamente, manteniéndolo suficientemente disponible para el pasto [27], [28]. Sin embargo, aunque el fósforo estuvo presente en altas concentraciones en el tratamiento I, no se observó una correlación directa con una mayor producción de proteínas, lo que sugiere que factores adicionales, como el equilibrio de nutrientes y las propiedades físicas del suelo, también jugaron un papel importante en el rendimiento del cultivo.

Este patrón también es consistente con los resultados de fósforo disponible observados en la figura 23, donde el tratamiento I muestra una alta concentración de fósforo, posiblemente debido a la presencia de fosfatos en la urea utilizada para fertilizar. A pesar del pH más ácido en este tratamiento (pH 5), la baja cantidad de arcillas y materia orgánica del suelo arenoso evitó que el fósforo se inmovilizara completamente, manteniéndose lo

suficientemente disponible para el pasto [29]. No obstante, aunque la presencia de fósforo fue alta en el tratamiento I, esto no se tradujo directamente en una mayor producción de proteínas, lo que sugiere que otros factores, como el equilibrio de nutrientes y las demás propiedades físicas del suelo, desempeñaron un rol crucial en el rendimiento del cultivo.

En particular, la combinación de una alta retención de humedad y una CIC favorable en el tratamiento IV parece haber proporcionado las condiciones ideales para un desarrollo óptimo del pasto. La disponibilidad sostenida de nutrientes, incluida una forma más estable de nitrógeno, permitió un mayor nivel de proteínas, mientras que, en otros tratamientos con menor retención de humedad, los nutrientes se lixiviaron más rápidamente, limitando su efecto positivo a largo plazo.

Factibilidad económica entre los esquemas de fertilización

Se realizó un análisis para determinar la viabilidad del uso de la fertilización orgánica e inorgánica, para ello, se comparó el costo de cada tratamiento en relación con los fertilizantes utilizados y la mano de obra requerida. En la Tabla 4 se muestran los costos asociados a cada tratamiento considerando sus dosis por hectárea, número de aplicaciones y mano de obra para su establecimiento y producción.

Tabla 4: Costos promedios de tratamientos por hectárea de pasto bermuda.

Tratamiento	Rubros	Unidad	Dosis/Ha.	Aplicaciones	Precio unitario, USD	Costo total/Ha, USD
I	Urea	kg	200	2	100	140
	Mano de obra	Jornal	2	2	10	
II	Agrodol	kg	266	2	127,68	167,68
	Mano de obra	Jornal	2	2	10	
III	Agrocel	kg	266	2	85,12	125,12
	Mano de obra	Jornal	2	2	10	
IV	Agrocel	kg	133	1	42,46	146,4
	Mano de Obra	Jornal	2	2	10	

Las aplicaciones se realizaron según los tratamientos establecidos en el diseño experimental, siendo aplicados en orden de menor a mayor costo: II, IV, I y III. Se encontró que el tratamiento III obtuvo el menor rendimiento en cuanto al nivel de proteína en el pasto. En cambio, el tratamiento I, aunque ligeramente más costoso, resultó en una mejor calidad nutricional para el ganado. Sin embargo, el tratamiento II, que presentó un costo superior al tratamiento I, logró un rendimiento mayor.

Por otro lado, el tratamiento IV, con un costo intermedio entre el I y el II, fue el que presentó el mayor rendimiento en cuanto al nivel de proteína en el pasto. Aunque su

costo fue de 6,4 USD superior al tratamiento I, esta diferencia no es significativa si se compara con el beneficio obtenido en términos de rendimiento. Además, mostró mejoras importantes en la calidad del suelo, como la capacidad de intercambio catiónico y la retención de humedad.

Con un nivel de confianza del 95 %, el análisis de Kruskal-Wallis reveló una variación estadísticamente significativa en el contenido de proteína en el pasto, siendo el tratamiento IV el que presentó la mayor concentración. Los parámetros de capacidad de intercambio catiónico y retención de humedad también fueron más elevados en el tratamiento IV, sugiriendo que estos factores pudiesen estar relacionados con el contenido proteico en el pasto asociado a dicho tratamiento.

Conclusiones

El tratamiento IV mostró el mayor contenido de proteína en el pasto. En cuanto a la relación costo/beneficio, el tratamiento IV resultó ser el más eficiente, proporcionando altos rendimientos proteicos a un costo razonable en comparación con el resto de los tratamientos.

El análisis estadístico comparativo indicó que, aunque los niveles de ciertos nutrientes como el nitrógeno amoniacal no mostraron diferencias estadísticamente significativas, otros factores, como el pH y la CIC, influyeron significativamente en el rendimiento proteico y en la capacidad del suelo para mantener los nutrientes disponibles para las plantas.

Desde el punto de vista económico y nutricional, el tratamiento I ofreció una opción accesible con buenos resultados en el rendimiento proteico del pasto, lo que lo hace una opción atractiva para mejorar la alimentación del ganado sin representar una inversión significativa. Sin embargo, el tratamiento IV, con el mejor rendimiento proteico y mejoras en la calidad del suelo, ofrece una opción rentable a largo plazo, siendo una inversión favorable tanto económica como agronómicamente.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Carabobo, Venezuela, a través del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente, LIBSA, el laboratorio de Petróleo, Hidrocarburos y Derivados, PHD y la escuela de bioanálisis.

Declaración de disponibilidad de datos

El autor de correspondencia puede suministrar los registros experimentales obtenidos a

toda persona interesada; escribir un correo electrónico con razones justificadas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que los fertilizantes orgánicos utilizados en este estudio, Agrodol y Agrocel, fueron suministrados por la empresa PROMIVECA. No obstante, PROMIVECA no tuvo injerencia en el diseño experimental, la recolección, análisis e interpretación de los datos, ni en la redacción o decisión de publicar los resultados. Este estudio se llevó a cabo bajo estrictos estándares de independencia académica y científica.

Referencias

- [1] W. Apollon, Y. Jean-Baptiste, B. J. Wagner, A. Luna-Maldonado, and H. Silos-Espino, “Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en la producción y calidad de *Brachiaria brizantha*,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 13, no. 1, pp. 1–13, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2637>.
- [2] G. Lemaire, L. Tang, G. Bélanger, Y. Zhu, and M.-H. Jeuffroy, “Forward new paradigms for crop mineral nutrition and fertilization towards sustainable agriculture,” *Eur. J. Agron.*, vol. 125, p. 126248, Apr. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126248>.
- [3] L. E. Vivas-Carmona, R. I. Navas-R, R. A. Escobar-García, and J. D. J. Ron, “Evaluación de cuatro genotipos de pasto elefante en Calabozo estado Guárico, Venezuela,” *J. Selva Andin. Biosph.*, vol. 7, no. 1, pp. 44–53, 2019, doi: <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2019.070100044>.
- [4] A.-K. Techen et al., “Soil research challenges in response to emerging agricultural soil management practices,” 2020, pp. 179–240. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.01.002>.
- [5] P. Sharma, P. Sharma, and N. Thakur, “Sustainable farming practices and soil health: a pathway to achieving SDGs and future prospects,” *Discov. Sustain.*, vol. 5, no. 1, p. 250, Sep. 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00447-4>.
- [6] A. Rehman, M. Farooq, D.-J. Lee, and K. H. M. Siddique, “Sustainable agricultural practices for food security and ecosystem services,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 56, pp. 84076–84095, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23635-z>.
- [7] N. M. Alzamel, E. M. M. Taha, A. A. A. Bakr, and N. Loutfy, “Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Properties, Growth Yield, and Physiochemical Properties of Sunflower Seeds and Oils,” *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12928, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su141912928>.
- [8] J. Briceño, E. Tonato, M. Silva, M. Paredes, and A. Armado, “Impact of metal content in agricultural soils near the Tungurahua volcano on the cultivation of *Allium fistulosum* L.,” *La Granja*, vol. 32, no. 2, pp. 114–126, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.09>.
- [9] M. F. Campos-Granados and J. C. Méndez, “Relación entre metodologías de

- determinación de conductividad eléctrica y concentración de cationes solubles en suelos de Costa Rica,” *Agron. Costarric.*, Jul. 2025, doi: <https://doi.org/10.15517/vf5xpa16>.
- [10] S. Barrezueta-Unda, ; Cervantes-Alava, ; Ullauri-Espinoza, ; Barrera-Leon, and & Condoy-Gorotiza, “Método LOI para determinar materia orgánica,” *Rev. FAVE-Ciencias Agrar.*, vol. 19, no. 2, pp. 25–36, 2020.
- [11] S. Mane, N. Das, G. Singh, M. Cosh, and Y. Dong, “Advancements in dielectric soil moisture sensor Calibration: A comprehensive review of methods and techniques,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 218, p. 108686, Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108686>.
- [12] J. T. Nelson, T. A. Adjuik, E. B. Moore, A. D. VanLoocke, A. Ramirez Reyes, and M. D. McDaniel, “A Simple, Affordable, Do-It-Yourself Method for Measuring Soil Maximum Water Holding Capacity,” *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, vol. 55, no. 8, pp. 1190–1204, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2296988>.
- [13] A. V. Garmay, K. V. Oskolok, O. V. Monogarova, and M. I. Demidov, “Determination of ammonium and nitrate in soils by digital colorimetry,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 196, no. 10, p. 948, Oct. 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13068-1>.
- [14] Y. Gu et al., “Potential use of phosphorus saturation degree as combined indicator for crop yield and leaching risks at regional scale,” *Eur. J. Agron.*, vol. 161, p. 127347, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127347>.
- [15] J. Yuan, S. E, and X. Zhao, “Improved determination efficiency of the cation exchange capacity and exchangeable base cations in soil using stirring and extraction modifications,” *Soil Tillage Res.*, vol. 248, p. 106429, May 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106429>.
- [16] Jaramillo D., *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín, Colombia.: Universidad Nacional de Colombia, 2002. [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- [17] A. Ali and H.-P. Kaul, “Monitoring Yield and Quality of Forages and Grassland in the View of Precision Agriculture Applications—A Review,” *Remote Sens.*, vol. 17, no. 2, p. 279, Jan. 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/rs17020279>.
- [18] G. Z. Rueda, C. Gutiérrez, G. Mistretta, F. Peralta, M. Golato, and M. Ruiz, “Determinación del contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar por medio de microondas,” vol. 93, no. 2, pp. 7–12, 2016, [Online]. Available: <https://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v93n2/v93n2a02.pdf>
- [19] T. Dent, A. LeMinh, and F. Maleky, “Comparison of Colorimetric Methods for Measuring the Solubility of Legume Proteins,” *Gels*, vol. 10, no. 9, p. 551, Aug. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/gels10090551>.
- [20] S. S. Shapiro and M. B. Wilk, “An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples),” *Biometrika*, vol. 52, no. 3/4, p. 591, Dec. 1965, doi: <https://doi.org/10.2307/2333709>.

- [21] S. F. de Holanda, L. K. Vargas, and C. E. Granada, “Challenges for sustainable production in sandy soils: A review,” *Environ. Dev. Sustain.*, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03895-6>.
- [22] P. A. Abrams, “Defining and describing competition,” in *Competition Theory in Ecology*, Oxford University Press Oxford, 2022, pp. 13–32. doi: <https://doi.org/10.1093/oso/9780192895523.003.0002>.
- [23] R. D. Bardgett and W. H. van der Putten, “Belowground biodiversity and ecosystem functioning,” *Nature*, vol. 515, no. 7528, pp. 505–511, Nov. 2014, doi: <https://doi.org/10.1038/nature13855>.
- [24] D. A. Wardle, “The influence of biotic interactions on soil biodiversity,” *Ecol. Lett.*, vol. 9, no. 7, pp. 870–886, Jul. 2006, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00931.x>.
- [25] T. Bhadauria, P. Kumar, R. Maikhuri, and K. G. Saxena, “Effect of Application of Vermicompost and Conventional Compost Derived from Different Residues on Pea Crop Production and Soil Faunal Diversity in Agricultural System in Garhwal Himalayas India,” *Nat. Sci.*, vol. 06, no. 06, pp. 433–446, 2014, doi: <https://doi.org/10.4236/ns.2014.66042>.
- [26] M. D. Rebonatti, C. F. dos S. Cordeiro, M. R. Volf, P. C. Gomes da Silva, and C. S. Tiritan, “Effects of silage crops between crop seasons on soybean grain yield and soil fertility in tropical sandy soils,” *Eur. J. Agron.*, vol. 143, p. 126685, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126685>.
- [27] A. Jarne, A. Usón, and R. Reiné, “Management Practices in Mountain Meadows: Consequences for Soil Nutrient Availability,” *Agronomy*, vol. 14, no. 10, p. 2419, Oct. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14102419>.
- [28] Q. Wang et al., “Soil pH and phosphorus availability regulate sulphur cycling in an 82-year-old fertilised grassland,” *Soil Biol. Biochem.*, vol. 194, p. 109436, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109436>.
- [29] A. Biro, M. Y. Wong, Y. Zhou, S. A. Batterman, and A. C. Staver, “Nitrogen and phosphorus availability alters tree-grass competition intensity in savannas,” *J. Ecol.*, vol. 112, no. 5, pp. 1026–1038, May 2024, doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14284>.

Daniel Loreto Amoretti, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Daniel Loreto es egresado de Química por la Universidad de Carabobo, Venezuela, se ha destacado por su interés en estudios orientados a mejorar la calidad agrícola y ambiental. Desarrolló su trabajo de titulación en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente, LIBSA, adscrito al Centro de Investigación y Extensión en Ambiente, Biología y Química, AMBIOQUIM. Su proyecto se centró en el análisis de parámetros fisicoquímicos de suelos tratados con fertilizantes orgánicos y químicos, con el objetivo de optimizar prácticas agrícolas sostenibles. Su formación académica y experiencia en investigación le ha permitido consolidarse como una joven promesa en el campo de la química ambiental.

Daniel Loreto is a Chemistry graduate from the University of Carabobo, Venezuela, distinguished for his interest in studies aimed at improving agricultural and environmental quality. He carried out his degree

project at the Laboratory of Biochemical, Soil, and Environmental Research, LIBSA, affiliated with the Research and Extension Center for Environment, Biology, and Chemistry, AMBIOQUIM. His project focused on the analysis of physicochemical soil parameters treated with organic and chemical fertilizers, with the goal of optimizing sustainable agricultural practices. His academic training and research experience have established him as a promising young talent in the field of environmental chemistry.

Arnaldo José Armado Matute, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Arnaldo José Armado Matute es profesor e investigador de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Se ha desempeñado como Director de Ambioquim, Coordinador del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelo y Ambiente (LIBSA), y Director Ejecutivo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH-UC). Su línea de investigación se centra en la ecotoxicología, con énfasis en la evaluación del impacto de metales pesados sobre la calidad de suelos y aguas, así como en la diversidad bacteriana edáfica. Además, desarrolla estudios en la formulación de fertilizantes orgánicos, sustratos biofertilizantes y extractos naturales con propiedades insecticidas y repelentes. Ha colaborado en investigaciones relacionadas con la contaminación por metales y su influencia sobre parámetros bioquímicos y biológicos del suelo, aportando soluciones sostenibles para el manejo ambiental y la agricultura.

Arnaldo José Armado Matute is a professor and researcher at the University of Carabobo, Venezuela. He has served as Director of Ambioquim, Coordinator of the Biochemical, Soil and Environmental Research Laboratory (LIBSA), and Executive Director of the Council for Scientific and Humanistic Development (CDCHUC). His research focuses on ecotoxicology, with an emphasis on assessing the impact of heavy metals on soil and water quality, as well as on soil bacterial diversity. Additionally, he conducts studies on the formulation of organic fertilizers, biofertilizer substrates, and natural extracts with insecticidal and repellent properties. He has collaborated in research projects addressing metal contamination and its influence on soil biochemical and biological parameters, contributing sustainable solutions for environmental management and agriculture.

Darwin Alberto Núñez Torres, Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico “Alpachaca” Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador.

Darwin Alberto Núñez Torres es profesor en la Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador, especializado en biología molecular, biotecnología y análisis de alimentos. Ha participado en investigaciones sobre la detección de patógenos en agua potable mediante PCR y la extracción de aceites esenciales de cáscara de naranja. Además, ha explorado el desarrollo de barras de chocolate y la deshidratación de variedades de ají para obtener polvo.

Darwin Alberto Núñez Torres is a professor at Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador, specializing in molecular biology, biotechnology, and food analysis. He has been involved in research on pathogen detection in drinking water using PCR and the extraction of essential oils from orange peels. Additionally, he has explored the development of chocolate bars and the dehydration of chili varieties to obtain powder.

Henry Baloy Porras, Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez, UPTMKR. Mérida, Venezuela



Henry Baloy Porras es un científico y académico venezolano especializado en ciencia del suelo y

agroecología. Se graduó en la Universidad de Los Andes, ULA, de Venezuela con un título en educación. Además de su labor como profesor en el Ministerio del Poder Popular para la Educación, ha compartido sus conocimientos sobre nutrición animal y alimentación en eventos académicos como las V Jornadas de rumiantes. Ha trabajado también con organizaciones como el Politécnico Santiago Mariño en Mérida, Venezuela, contribuyendo al avance de esfuerzos científicos y académicos. Su participación en discusiones científicas, como la organizada por Fundacite Yaracuy, donde habló sobre el uso de la investigación-acción en el ámbito agroecológico, resalta su compromiso con la investigación y la enseñanza agroecológica. Actualmente, sigue realizando investigaciones, con un enfoque en la salud del suelo y en métodos de agricultura sostenible.

Henry Baloy Porras is a Venezuelan scientist and academic specializing in soil science and agroecology. He graduated from the University of Los Andes (ULA) in Venezuela with a degree in education. In addition to his work as a professor at the Ministry of Popular Power for Education, he has shared his knowledge of animal nutrition and feeding at academic events such as the 5th Ruminant Conference. He has also worked with organizations such as the Santiago Mariño Polytechnic Institute in Mérida, Venezuela, contributing to the advancement of scientific and academic efforts. His participation in scientific discussions, such as the one organized by Fundacite Yaracuy, where he spoke about the use of action research in the agroecological field, highlights his commitment to agroecological research and education. He is currently continuing his research, focusing on soil health and sustainable farming methods.

Desarrollo de plántulas de cacao criollo, bajo diferentes tratamientos con fertilizantes orgánicos minerales y el hongo *Trichoderma spp.*

Development of Criollo cocoa seedlings under different treatments with organic mineral fertilizers and the fungus *Trichoderma spp.*

Kevyn Porras¹ ; Domenico Fabio Pavone Maniscalco² ; Diego David Moposita Vásquez³  y Arnaldo José Armado Matute^{*4} .

¹Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. kporras_1998@hotmail.com

²Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. dfpavone@gmail.com

³Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador. <https://ror.org/005cgg117>. diego.moposita@ueb.edu.ec

⁴Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. aarmado@uc.edu.ve

*Autor para correspondencia: aarmado@uc.edu.ve

DOI: <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.4>

Resumen

En este estudio se evaluaron los parámetros biométricos y el porcentaje de colonización endofítica del hongo *Trichoderma spp.* en plantas de cacao en etapa de vivero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con dos fertilizantes orgánicos minerales (Agrohúmicos Plus y Agrodol) y el hongo *Trichoderma* (Producto TrichoVita compuesto por los hongos *Trichoderma asperellum* y *T. virens*) ambos suministrados por las empresas PROMIVECA y TecnoVita respectivamente. Cada fertilizante se evaluó por separado y también en mezcla con el hongo, resultando en ocho tratamientos, incluyendo un control. Los resultados mostraron que para los parámetros biométricos no hubo diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, sin embargo, estos se encuentran dentro de los rangos reportados por estudios anteriores, destacando una tendencia de mejora en las plantas tratadas con Agrodol y *Trichoderma* en pre-germinación con respecto al control. Los parámetros fisicoquímicos del sustrato se encontraron dentro de los rangos esperados, lo que representa unas condiciones adecuadas para el crecimiento de las plantas de cacao. En cuanto a la colonización endofítica, el 50 % de los tratamientos mostró una relación simbiótica con el hongo *Trichoderma*.

Palabras clave: cacao; fertilización orgánica; simbiosis; *Trichoderma*.

Citación sugerida: Porras K.; Pavone D.; Moposita D. y Armado A. (2025). Desarrollo de plántulas de cacao criollo, bajo diferentes tratamientos con fertilizantes orgánicos minerales y el hongo *Trichoderma spp.*. En *Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos* (pp. 85–112). Colección seriada: *Glebe*, 1(1). <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.4>.



Abstract

In this study, the biometric parameters and the percentage of endophytic colonization of the fungus *Trichoderma spp.* in cocoa plants at the nursery stage were evaluated. A completely randomized experimental design was used, employing two organic mineral fertilizers (Agrohúmicos Plus and Agrodol) and the fungus *Trichoderma* (TrichoVita product composed of *Trichoderma asperellum* and *T. virens*), provided by the companies PROMIVECA and TecnoVita. Each fertilizer was evaluated separately and in combination with the fungus, resulting in eight treatments, including a control. The results showed that there were no significant differences in biometric parameters among the treatments studied; however, they fell within the ranges reported in previous studies, highlighting a trend of improvement in plants treated with Agrodol and *Trichoderma* during pre-germination compared to the control. The physicochemical parameters of the substrate were within expected ranges according to various authors, reflecting adequate conditions for cocoa plant growth. Regarding endophytic colonization, 50 % of the treatments exhibited a symbiotic relationship with the fungus *Trichoderma*.

Keywords: cocoa; organic fertilization; symbiosis; *Trichoderma*.

Introducción

La planta de cacao se reproduce en bosques tropicales húmedos, usualmente su origen se relaciona en el noreste de América del Sur. En Venezuela, se cultiva en condiciones cálidas y húmedas, sin ayuda de pesticidas, lo que permite que los árboles absorban aromas del entorno y los expresen en sus frutos. El país cuenta con un banco natural de cacao fino de aroma, pero la producción se basa en prácticas tradicionales y tecnología rudimentaria, lo que resulta en bajos rendimientos de producción. En el caso de las plántulas de cacao estas requieren ser estimuladas desde temprana edad para un desarrollo adecuado [1].

El uso de fertilizantes orgánico-minerales puede aportar los nutrientes que requieren los cultivos mejorando la calidad de los frutos y la cosecha sin químicos nocivos. Además, los suelos de las plantaciones de cacao pueden albergar microorganismos beneficiosos, como el hongo *Trichoderma* [2].

El cultivo de cacao en América Latina tiene relevancia socioeconómica marcada, especialmente en países como Venezuela. Esta actividad involucra a millones de personas, muchas de ellas en la agricultura familiar, y constituye una fuente vital de ingresos y desarrollo rural. Además, el cacao ha sido una herramienta clave en procesos de paz y sustitución de cultivos ilícitos en países como Colombia y Perú. En Venezuela, el cacao es parte esencial de la identidad nacional y ha sido reconocido internacionalmente por su calidad [3].

El cacao criollo, originario de Venezuela, es altamente valorado por su sabor y aroma únicos. Este tipo de cacao se distingue por sus notas a frutas tropicales y su suavidad, lo que lo convierte en uno de los más cotizados en el mercado internacional. Sin embargo, su cultivo requiere condiciones específicas y es más susceptible a enfermedades, lo que representa un desafío para su producción sostenible [4].

Actualmente, la producción de cacao enfrenta diversos problemas, como bajos rendimientos, prácticas agrícolas tradicionales y suelos degradados. Además, enfermedades como la moniliasis, causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, afectan significativamente las cosechas. La falta de acceso a tecnologías modernas y la escasa organización de los productores limitan la capacidad de mejorar la productividad y la calidad del cacao. Estos desafíos requieren estrategias integrales que incluyan la capacitación de los agricultores, la mejora de las prácticas agrícolas y la conservación de las variedades autóctonas para asegurar la sostenibilidad del cultivo [5].

El desarrollo temprano del cultivo de cacao enfrenta múltiples desafíos que comprometen la calidad y productividad de las plantaciones. En la etapa de vivero, factores como la selección inadecuada del sustrato, deficiencias nutricionales y el uso de contenedores de tamaño insuficiente pueden limitar el crecimiento radicular y la formación de estructuras aéreas, afectando la supervivencia de las plántulas tras el trasplante [6].

El vivero es importante para garantizar plántulas sanas y vigorosas, ya que permite controlar condiciones ambientales críticas, como la humedad, la luz y la protección contra plagas y enfermedades. Un manejo adecuado en esta etapa asegura una mejor adaptación al campo y un desarrollo óptimo de las plantas. Sin embargo, prácticas tradicionales y la falta de acceso a tecnologías adecuadas pueden limitar estos beneficios [7].

Para mejorar el desarrollo de las plántulas de cacao, es esencial adoptar alternativas sostenibles. El uso de biofertilizantes, tales como, bioles y el humus de lombriz, ha demostrado mejorar significativamente el crecimiento de las plántulas, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental. Además, la incorporación de sustratos orgánicos adecuados y el uso de contenedores de mayor tamaño pueden favorecer el desarrollo radicular y la salud general de las plantas. Estas prácticas sostenibles son clave para asegurar una producción de cacao más eficiente y respetuosa con el medio ambiente [8].

Los fertilizantes orgánico-minerales desempeñan un papel crucial en la agricultura sostenible, especialmente en cultivos tropicales como el cacao. Estos fertilizantes combinan materia orgánica con minerales naturales, proporcionando una nutrición equilibrada y mejorando la salud del suelo. A diferencia de los fertilizantes químicos, los orgánico-minerales liberan nutrientes de manera gradual, lo que reduce el riesgo de lixiviación y contaminación ambiental. Además, fomentan la actividad microbiana beneficiosa,

mejoran la estructura del suelo y aumentan su capacidad de retención de agua [9].

En comparación con los fertilizantes químicos, los orgánico-minerales ofrecen ventajas importantes. Mientras que los químicos pueden causar acidificación del suelo y pérdida de biodiversidad microbiana, los orgánico-minerales ayudan a mantener el equilibrio del ecosistema del suelo. Además, al combinar nutrientes de origen orgánico e inorgánico, permiten una mayor flexibilidad y control sobre la nutrición de las plantas, adaptándose a las necesidades específicas de cada cultivo y tipo de suelo [10].

Diversos estudios han demostrado el impacto positivo de los fertilizantes orgánico-minerales en cultivos tropicales. Por ejemplo, en la producción de caña de azúcar, su uso ha mejorado la calidad del suelo y aumentado el rendimiento de los cultivos. En el caso del tomate, la aplicación de humus de lombriz ha duplicado la producción, mejorando la estructura del suelo y favoreciendo un crecimiento robusto de las plantas [11].

El hongo *Trichoderma spp.* se ha consolidado como un bioestimulante y agente simbiótico clave en la agricultura sostenible, especialmente en cultivos tropicales como el cacao. Su capacidad para promover el crecimiento vegetal y proteger contra patógenos lo convierte en una herramienta valiosa para mejorar la productividad y la salud de las plantas [12].

Los mecanismos de acción de *Trichoderma spp.* incluyen la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos antibióticos y enzimas hidrolíticas, y el micoparasitismo, donde el hongo ataca directamente a otros hongos patógenos. Además, estimula el crecimiento de las plantas mediante la síntesis de fitohormonas, la solubilización de nutrientes y la mejora en la absorción de estos, fortaleciendo así el sistema radicular y la resistencia de las plantas a condiciones adversas [13].

En el cultivo de cacao, diversos estudios han demostrado la eficacia de *Trichoderma spp.*, por ejemplo, se ha utilizado en el tratamiento de semillas y producción de plántulas, mostrando una reducción en el uso de químicos y una mejora en el crecimiento de las plantas. Además, se ha empleado para controlar enfermedades como la moniliasis, causada por *Moniliophthora roreri*, mediante aplicaciones foliares que reducen la infección de los frutos. Estos resultados evidencian el potencial de *Trichoderma spp.* como una alternativa sostenible y eficaz en la producción de cacao y otros cultivos tropicales [14].

Los escasos estudios integrados en cacao criollo, especialmente en regiones como Venezuela, muestran la necesidad de investigaciones que evalúen la sinergia entre estos insumos. La combinación de fertilizantes orgánico-minerales y *Trichoderma spp.* podría ofrecer una estrategia sostenible para mejorar la productividad y la salud del suelo en sistemas agroforestales de cacao criollo [15].

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto combinado de fertilizantes orgánico-minerales y *Trichoderma spp.* en el desarrollo de plántulas de cacao criollo bajo condiciones de vivero. La investigación se enfocó en analizar cómo esta combinación influye en variables clave de crecimiento, como la altura de las plántulas, el diámetro del tallo y la biomasa radicular. Dado que el cacao criollo es una variedad de alto valor económico y sensorial, pero con requerimientos agronómicos específicos, la implementación de prácticas sostenibles que mejoren su desarrollo desde etapas tempranas es importante. Este enfoque busca fortalecer las estrategias agroecológicas en la producción de cacao, con énfasis en promover sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles.

Metodología

Se estableció un semillero tipo vivero, en un área de 3 x 2 m, empleando mallas de sarán que proporcionen sombra, se utilizaron semillas de cacao criollo de la variedad Canoabo, una vez pregerminadas, se plantaron en bolsas de polietileno, perforadas para su drenaje y con dimensiones de 11 cm de ancho por 26 cm de altura. Ellas se llenaron con sustrato, en donde germinó la semilla y se evaluó su crecimiento durante 120 días.

El semillero construido con bolsas está organizado en un diseño de 8 bloques, evaluando 8 tratamientos con 3 repeticiones cada uno (5 plantas por repetición), con un total de 120 plantas de cacao (Figura 1).

Elaboración del sustrato

Se preparó un sustrato compuesto de tierra, arena y materia orgánica en una proporción



Figura 1. Diagrama de tratamientos en el semillero de cacao.

de 3:1:1, respectivamente, teniendo en cuenta que a la tierra se le debe realizar un proceso de solarización, el cual consiste en exponer la tierra por un período de 3 a 4 días a plena exposición solar, haciendo volteos periódicos para luego cubrirla con plástico buscando así obtener una desinfección. De igual manera, la arena se debe encontrar previamente cernida con un tamiz y asegurar que no exista ninguna contaminación u objetos de gran tamaño (piedras, envases, bolsas, etc.) en cada insumo. Una vez tratados cada uno de los componentes se procedió a pesar la cantidad necesaria para la elaboración del sustrato (Tabla 1) y se mezclaron. La mezcla de los insumos se realizó con ayuda de una pala. Cuando los componentes se encuentren mezclados, se inicia la homogenización con la ayuda de una pala, dando varias vueltas a los insumos que conforman el sustrato, homogenizando todo el material, de tal manera que los rangos de las partículas no sean muy dispares logrando así una distribución del tamaño de las partículas lo más uniforme posible [16].

Ahora bien, considerando que las bolsas de polietileno tenían una capacidad de 2 Kg y son un total de 120 plantas, se prepararon aproximadamente de 240 kg de sustrato, con una composición como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del sustrato preparado.

Componente	Composición (kg)
Tierra	144
Arena	48
Materia Orgánica	48
Total	240

Limpieza y pregerminado de las semillas de cacao

El mucílago se removió frotando las semillas con arena y abundante agua, luego las semillas se sumergieron en peróxido de hidrógeno al 0,3 % durante 24 horas y se lavaron con agua potable. Una vez removido el peróxido, se sumergieron en agua durante 3 días, hasta notar el brote de la raíz.

Tratamientos realizados en el estudio

Se realizaron diferentes tratamientos empleando dos fertilizantes orgánicos minerales (Agrohúmicos Plus y Agrodol suministrados por la empresa PROMIVECA) y el hongo *Trichoderma spp* (Tricho-Vita proporcionada por la empresa TecnoVita). Cada fertilizante orgánico mineral se evaluó por separado, al mismo tiempo, se evaluó la mezcla de cada fertilizante con el hongo *Trichoderma spp*. Por otro lado, se aplicó un tratamiento de pregerminación a las semillas de cacao con el hongo *Trichoderma*, otro en donde se aplicó

este hongo al sustrato por aspersión y uno en el que se aplicó la pregerminación y la aspersión con el hongo *Trichoderma*, dando un total de nueve tratamientos, incluyendo un testigo (control), donde a la planta no se le aplicó ningún producto y las muestras del sustrato elaborado sin manipular.

El producto Tricho-Vita proveniente de la empresa TecnoVita es una formulación granulada totalmente orgánica con base en esporas, micelio y metabolitos de los hongos *Trichoderma asperellum* y *T. virens* en polisacáridos vegetales naturales, en la Tabla 2 se muestra el resumen del aporte nutritivo.

Tabla 2. Aporte nutritivo de los fertilizantes orgánico-minerales evaluados.

Componentes	Agrohúmicos Plus	Agrodol
Materia Orgánica	56 %	48 %
Ácidos Húmicos (AH)	21 %	18 %
Ácidos Fúlvicos (AF)	1 %	< 1 %
Nitrógeno (N)	3 %	3 %
Fósforo (P)	2 %	3 %
Potasio (K)	6 %	3 %
Calcio (Ca)	7 %	10 %
Magnesio (Mg)	1 %	3 %
Azufre (S)	2 %	1 %
Hierro (Fe)	2 %	2 %
Cloruro (Cl)	2 %	2 %

Los productos empleados en cada tratamiento fueron aplicados según lo recomendado por el fabricante.

A continuación, se describe cada tratamiento:

T0: Pretratamiento: muestras del sustrato preparado.

Tratamiento N° 1 (T1): Testigo: las bolsas de polietileno fueron llenadas con el sustrato preparado, luego se abrió un hueco en el medio de aproximadamente 2-3 cm y se introdujo la semilla previamente germinada, orientando la radícula hacia abajo. Posteriormente, se tapó nuevamente el hueco con el sustrato.

Tratamiento N° 2 (T2): Agrodol: se repitió el mismo procedimiento del T1, se agregaron 15 g de Agrodol por planta en la superficie y se regaron con agua.

Tratamiento N° 3 (T3): Agrohúmicos Plus: se repitió el mismo procedimiento del T1, se agregaron 15 g de Agrohúmicos Plus por planta en la superficie y se regaron con agua.

Tratamiento N° 4 (T4): Solución de Trichoderma por aspersión: se preparó una suspensión de Trichoderma 0,25 g/L con agua, agitando constantemente. Luego se repitió

el mismo procedimiento del T1, se agregaron 33 mL de la suspensión de Trichoderma por planta en el sustrato y se regó con agua.

Tratamiento N° 5 (T5): Agrodol + Solución de Trichoderma por aspersión: se repitió el mismo procedimiento del T2, luego se agregaron 33 mL de la suspensión de Trichoderma por planta en el sustrato y se regó con agua.

Tratamiento N° 6 (T6): Agrohúmicos Plus + Solución de Trichoderma por aspersión: se realizó el mismo procedimiento del T3, se agregaron 33 mL de la suspensión de Trichoderma por planta en el sustrato y se regaron con agua.

Tratamiento N° 7 (T7): Pregerminación con Trichoderma: antes de realizar la plantación de la semilla previamente germinada (procedimiento 3.3). Se sumergió la semilla germinada en la solución de Trichoderma durante 3 horas, se retiró de la solución e inmediatamente se plantó la semilla como en el T1.

Tratamiento N° 8 (T8): Pregerminación con Trichoderma + Solución de Trichoderma por aspersión: se repitió el T7 y luego se preparó una suspensión de Trichoderma 0,25 g/L con agua, agitando constantemente, luego se agregaron 33 mL de la suspensión de Trichoderma por planta en el sustrato y se regó con agua.

Método de selección de las plantas

En el caso de la medición de los parámetros biométricos, se les realizaron a todas las plantas, mientras que la determinación de la longitud radicular (LR), materia seca (MS) y el porcentaje de colonización endofítica se realizó al final del ciclo de crecimiento, tomando de manera al azar las plantas a ser analizadas, escogiendo tres (3) plantas por cada tratamiento en el caso de la LR y MS, mientras que para el porcentaje de colonización sólo se tomó una (1) planta por tratamiento para un total de 32 plantas.

Determinación de parámetros biométricos de las plantas

Para analizar el crecimiento y desarrollo del cultivo, a cada una de las plantas emergidas, se le determinó a los 30, 60, 90 y 120 días de establecido el cultivo, los parámetros biométricos: altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas, como se describe a continuación.

Altura y diámetro del tallo

Para la determinación de la altura del tallo de cada planta se utilizó una cinta métrica se midió la distancia desde la base del tallo hasta el ápice de la plántula, para el diámetro del tallo se hizo sobre el cuello de la raíz y al ras del suelo con la ayuda de un vernier [17].

Número de hojas y longitud radicular

Se registró cuantitativamente la cantidad de hojas en la planta. Para la determinar la longitud radicular se retiró con cuidado la bolsa de polietileno, para evitar dañar las raíces. Luego, se sumergieron las raíces en agua para eliminar el sustrato. A continuación, se extendieron las raíces en una superficie plana y se midió desde la base del tallo hasta la punta de la raíz más larga, utilizando una cinta métrica [18].

Determinación de la materia seca (MS)

Para la determinación de materia seca, se tomaron muestras de materia húmeda y se colocaron en una bandeja, para posteriormente ser calentada en una estufa con circulación forzada de aire a 60 - 65 °C por un lapso de 72 horas. Finalizado este periodo, se pesó nuevamente la muestra y se estimó el % MS por diferencia de peso antes y después de la colocación en estufa [19].

Parámetros fisicoquímicos en el sustrato

A cada una de las muestras pre y post tratamiento se les determinó diferentes propiedades fisicoquímicas como: pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), retención de humedad, cationes intercambiables, fósforo disponible, nitrógeno amoniacal y contenido de materia orgánica, siendo estos indicadores de los cambios experimentados por el sustrato por efecto de los productos aplicados.

Porcentaje de colonización endofítica

Se evaluó la colonización endofítica y el desarrollo de pelos radiculares a partir de tricomas en el tallo. En primer lugar, se tomaron porciones del tallo y raíz (aproximadamente 1 cm), se desinfectan con hipoclorito de sodio al 5 % durante tres minutos, seguido de inmersión en alcohol al 75 % durante un minuto, luego se enjuagó en agua destilada estéril y se secó con toallas de papel estériles o gasas. La inoculación de los fragmentos de raíz y tallo se realizó en cajas Petri contenidas con agua agar durante 16 horas y se incubaron en la oscuridad a 26 °C. Posteriormente, los hongos emergentes de los pelos radiculares y los tricomas se colectaron con ayuda de un fórceps y un cepillo muy fino, seguidamente se inocularon en placas Petri con Agar Papa Dextrosa (PDA) y se incuban a $27 \pm 0,2$ °C.

Análisis estadístico

Cada una de las variables estudiadas se sometió a un análisis estadístico en el software Past 4. Para el estudio de cada uno de los parámetros se realizó una medición a los 30, 60, 90 y 120 días después del sembrado, con excepción de la longitud radicular y el contenido de materia seca, que se realizó al finalizar los 120 días. A nivel estadístico se determinó si

los datos obtenidos por tratamiento siguen el comportamiento de una distribución normal, para esto se empleó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Con el fin de conocer si existía diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos, para los datos no paramétricos se empleó la prueba de Kruskal – Wallis, mientras que para los datos paramétricos se realizó un análisis estadístico ANOVA de un factor.

En caso de existir una diferencia significativa entre los tratamientos fue necesario identificar entre qué tratamientos existe una diferencia significativa, para los datos paramétricos se emplea la prueba de Tukey, mientras que para los datos no paramétricos se aplicó la prueba post hoc de Dunn´s para comparaciones múltiples.

Resultados y discusión

Se obtuvo un porcentaje de germinación del 93,3 %, este valor fue mayor a los rangos reportados por estudios previos.

Con un nivel de confianza del 95 %, el análisis ANOVA y Kruskal Wallis revelaron que para los parámetros biométricos no hubo diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, sin embargo, estos se encuentran dentro de los rangos reportados por estudios anteriores, destacando una tendencia de mejora en las plantas tratadas con Agrodol, T2, y Trichoderma en pre-germinación, T7, con respecto al control, T1, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros biométricos para las plántulas de cacao a los 120 días de crecimiento.

Tratamientos	Estadístico	Altura de planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Número de hojas	Longitud radicular (cm)	Materia seca (%)
T1	Media	33,8	6,2	17	29	29,4
	Intervalo	27 - 41	5,5 - 7	11-22	3	0,5
T2	Media	33,5	7,2	17	22	29
	Intervalo	22 - 51	5,2 - 8	9-20	2	1
T3	Media	25	6,8	15	33	30
	Intervalo	15 - 42	5,3 - 9	8-21	6	2
T4	Media	23,5	6,1	12	26	29
	Intervalo	20 - 47	5-9	8-17	2	5
T5	Media	37	7	18	23	29
	Intervalo	25,5 - 50	5,2 - 8	14 - 26	6	2
T6	Media	24,5	7	15	32	26
	Intervalo	20 - 36	6,2 - 8	10-16	9	2
T7	Media	34,8	7,1	15	34	31
	Intervalo	21 - 43	5-10	12-18	10	1

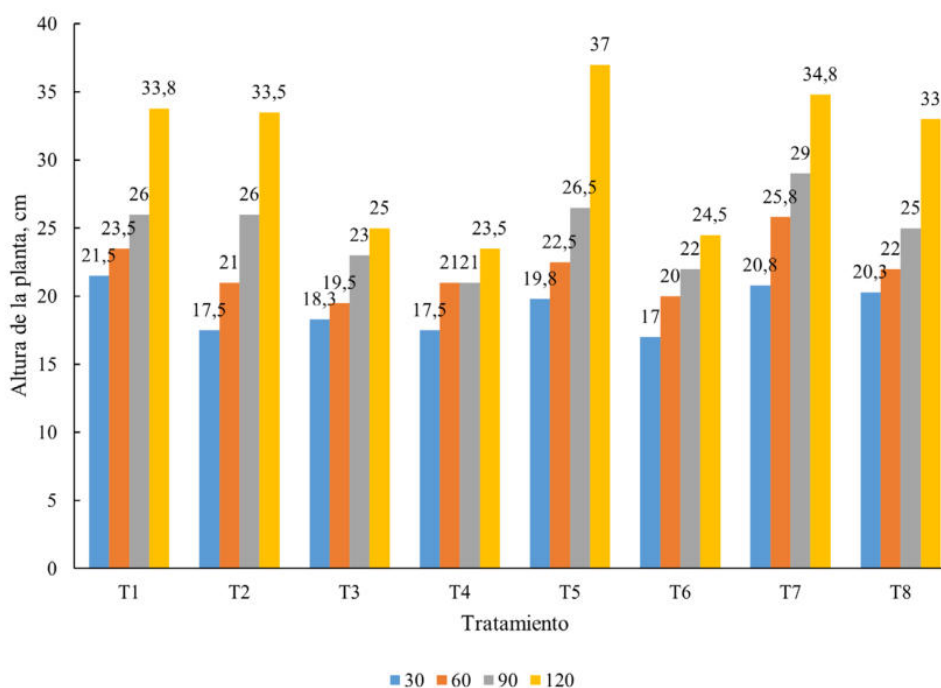
Tratamientos	Estadístico	Altura de planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Número de hojas	Longitud radicular (cm)	Materia seca (%)
T8	Media	33	6,5	14	31	28
	Intervalo	22 - 41	4,7 - 8	8-21	4	4

Parámetros biométricos de las plantas de Theobroma Cacao L.

Se estudiaron los parámetros biométricos de las plantas de cacao por cada tratamiento aplicado a los 30, 60, 90 y 120 días después del sembrado, con excepción de la longitud radicular y el contenido de materia seca, que se realizó al finalizar los 120 días.

Altura de planta

Se estudió el efecto de cada tratamiento en relación con la altura de las plántulas de cacao, se presentan los resultados correspondientes a la altura de plantas de cacao a los 30, 60, 90 y 120 días, Figura 2.



A los 30 días el Tratamiento control, T1, produjo plantas de mayor altura, mientras que el tratamiento N° 6 (Agrohúmicos plus + Trichoderma por aspersión) fue el de menor altura.

Figura 2. Evolución de la altura de las plantas de cacao en función del tratamiento. A los 60 días, también se evidenció una diferencia significativa entre los datos. En este caso plantas con mayor altura fue el T7 y T3 el que obtuvo menor altura comportamiento que coincide con lo encontrado a los 30 días.

Para los 90 días, las plantas tratadas con Trichoderma en la etapa de pregerminación, T7,

fueron las que obtuvieron una mayor altura, mientras que las plantas con menor altura fueron las tratadas con Trichoderma por aspersión, T4. Sin embargo, de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis no existe una diferencia significativa entre los tratamientos ($p>0,05$).

Por último, a los 120 días las plantas del T5 (Agrodol + Trichoderma por aspersión) fueron las de mayor altura con 37,0 cm y las plantas del T4 fueron las de menor altura, sin embargo, de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis existe una diferencia significativa entre los tratamientos. En otros trabajos proponen que la diferencia de altura de plantas de cacao puede deberse a diversos factores, como el tipo de cacao que pertenezca la semilla, el tipo de sustrato utilizado, incluso la condiciones climáticas en donde se desarrolle su crecimiento [20].

Diámetro del tallo

Se estudió el efecto de cada tratamiento con relación al diámetro del tallo de las plántulas de cacao, Figura 3.

A los 30 días, las plantas del T5 (Agrodol + Trichoderma por aspersión) obtuvieron el mayor valor con una media de 4,8 mm, por otro lado, las plantas tratadas con Trichoderma por aspersión, T8, fueron las de menor valor con 4,3 mm. Al realizar un análisis estadístico

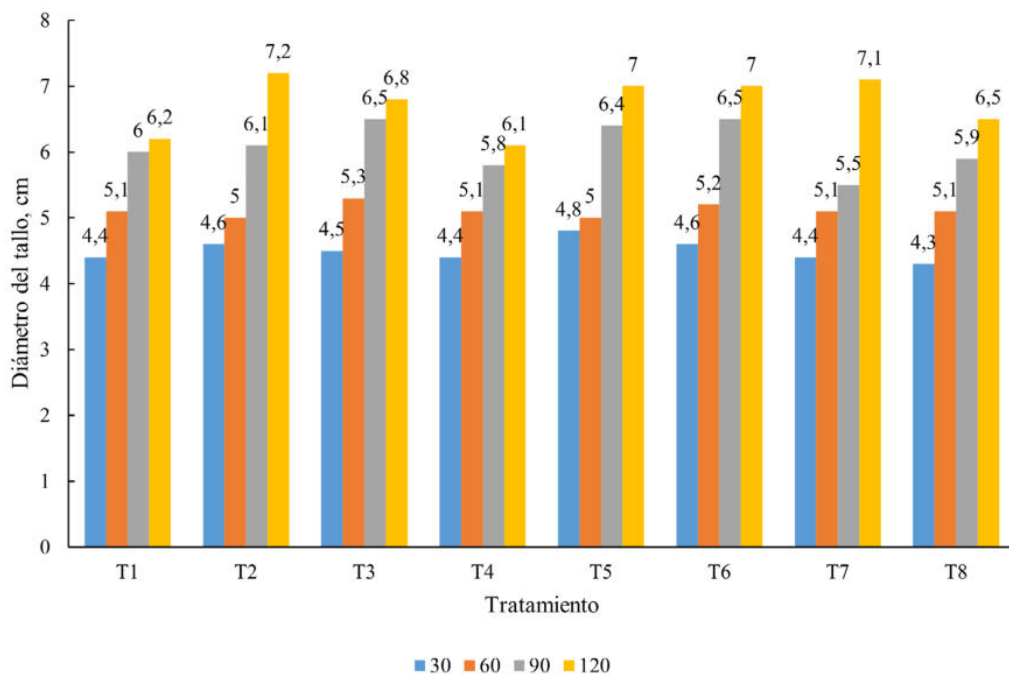


Figura 3. Diámetro del tallo de las plantas de cacao a los 30, 60, 90 y 120 días.

ANOVA se determinó que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

Por otro lado, a los 60 días el mejor resultado se obtuvo de aquellas plantas tratadas con

Agrohúmicos plus, T3, con 5,3 mm y en el caso del menor valor fueron los tratamientos T2 (Agrodol) y T5 (Agrodol + Trichoderma por aspersión).

El comportamiento a los 90 días de crecimiento, las plantas evaluadas por el tratamiento T3 (Agrohúmicos Plus) y T6 (Agrohúmicos plus + Trichoderma) presentaron la mayor mediana de crecimiento, en este caso el T7 (Pregerminación con Trichoderma) fue el de menor valor. Sin embargo, los tratamientos evaluados no presentan una diferencia significativa.

A los 120 días de crecimiento, el único cambio con respecto a los otros días fue que las plantas tratadas con el fertilizante Agrodol, T2, fueron las que obtuvieron un mayor desarrollo, mientras que el T4 (Trichoderma por aspersión) tuvo el menor crecimiento.

Los resultados concuerdan con lo reportado por algunos trabajos, donde la diferencia puede deberse a la genética de la semilla de cacao, al tiempo de observación e incluso a los diferentes tratamientos empleados.

Número de hojas

Se estudió el efecto de cada tratamiento con relación al número de hojas que presenta la plántula de cacao, como se puede observar en la Figura 4.

A los 30 días de evaluación, las plantas tratadas con el fertilizante Agrohúmicos plus (T3) y Agrodol con Trichoderma por aspersión (T5) presentaron un mayor número de hojas.

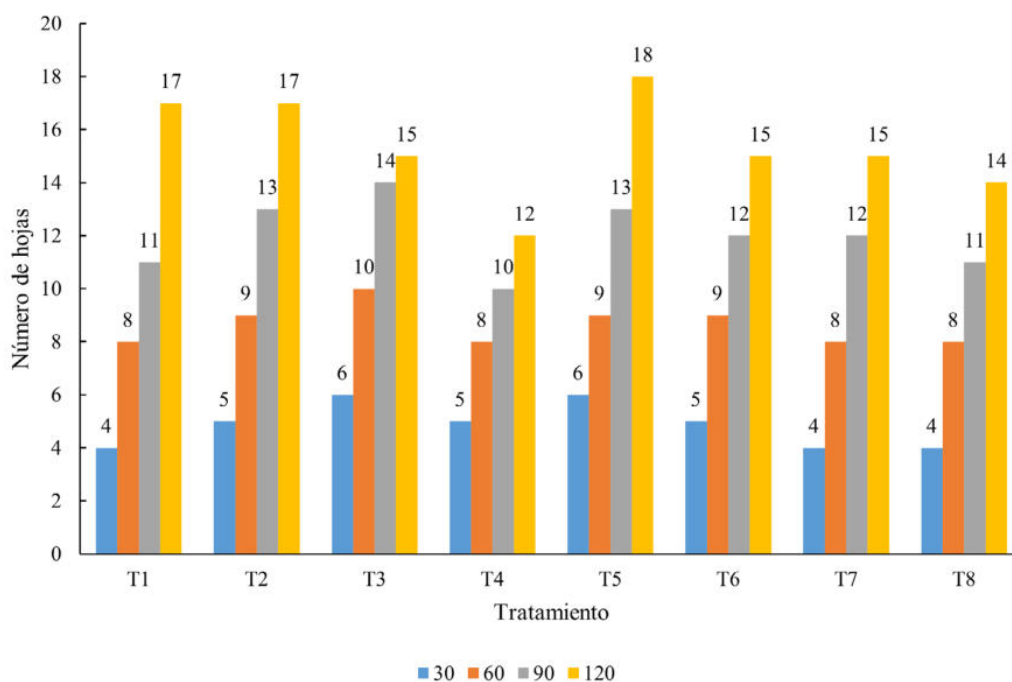


Figura 4. Número de hojas de las plantas de cacao a los 30, 60, 90 y 120 días.

Estos tratamientos mostraron una diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis y prueba post hoc de Dunn's entre los tratamientos T5 y T8.

Al igual que a los 30 días, el tratamiento T3 también presentó ser el de mayor número de hojas a los 60 días, con una mediana de 10 hojas en este caso, estadísticamente los tratamientos presentaron una diferencia significativa, entre los tratamientos T3 y T4. Siguiendo con la misma tendencia a los 90 días de evaluación, el T3 presenta el mayor número de hojas, con una mediana de 14 hojas, estadísticamente los tratamientos estudiados demostraron una diferencia significativa entre sí. Solo el T4 demostró una diferencia significativa con el T5.

Por último, al día 120 las plantas tratadas con el fertilizante Agrodol y el hongo Trichoderma por aspersión, T5, fue el que obtuvo un mayor número de hojas, con una mediana de 18 hojas.

Longitud Radicular

Para la determinación de la longitud radicular y porcentaje de materia seca, a los 120 días de evaluación se seleccionaron tres números completamente al azar correspondientes a tres plantas de cada tratamiento estudiado. En el caso de la longitud radicular, el tratamiento T7 (Pregerminación con Trichoderma) presentó el mejor resultado. De acuerdo con las pruebas estadísticas realizadas a los resultados, no existe una diferencia significativa entre los tratamientos estudiados.

Contenido de materia seca

El tratamiento que presentó un mayor % MS fueron las plantas tratadas con Trichoderma en su etapa de pregerminación T7 con un $(31 \pm 5) \%$, sin embargo, al realizar la prueba de normalidad y un análisis estadístico ANOVA, se encontró que no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos estudiados.

Parámetros fisicoquímicos del sustrato pre y post tratamiento

Para poder evaluar los parámetros químicos que influyeron en el crecimiento de las plántulas de Theobroma Cacao L. Fue necesario caracterizar el sustrato antes del sembrado de las semillas de Theobroma Cacao L. y el sustrato utilizado en los 8 tratamientos estudiados al finalizar los 120 días de crecimiento, Tabla 4.

Potencial de hidrógeno, pH, del sustrato pre y post tratamiento

Se encontró que los valores de pH obtenido por el sustrato pre y post tratamiento, donde

Tabla 4. Resultados para los distintos parámetros fisicoquímicos de las muestras de sustrato.

Tratamiento	pH	CE, (μS/cm)	RH, (%)	MO, (%)	CIC (cmol/kg suelo)	Ca (cmol/kg suelo)	Mg (cmol/kg suelo)	P disponible (mg P/ Kg suelo)	N – NH ₄ (%)	
T0	Media	7,4	1.812	38	5,7	40,8	19	8,9	0,004	
	s	a	a	a	a	a	a	16	ad	
T1	Media	0,2	43	0,5	0,5	0,1	1	0,5	0,000	
	s	8	470	41,4	5,2	40,7	25	6,7	0,004	
T2	Media	b	b	bcd	a	a	bcd	a	ad	
	s	0,1	82	0,4	0,6	0,2	1	0,8	2	0,000
T3	Media	7,7	919	42,1	8,7	40,6	23	18,8	0,006	
	s	ab	c	bcd	ab	A	b	b	19	b
T4	Media	0,1	95	0,8	0,7	0,2	1	0,9	2	0,000
	s	7,7	883	42,5	9,9	41,9	28	8,6	22	0,007
T5	Media	ab	c	bc	b	ab	cd	a	c	
	s	0,1	72	0,3	0,8	0,2	1	1	2	0,000
T6	Media	7,84	502	41,3	5,7	41,8	23	12,8	0,005	
	s	b	b	bd	a	ab	b	c	21	d
T7	Media	0,06	51	0,6	0,6	0,1	1	0,5	2	0,000
	s	7,8	723	43,15	8,4	41,2	28	9	22	0,006
T8	Media	ab	c	c	ab	ab	d	a	b	
	s	0,1	24	0,04	0,9	0,6	1	1	1	0,000
T9	Media	7,91	468	37	8,1	42,4	25	7	9,8	0,0061 b
	s	b	b	a	ab	b	bcd	a	0,2	0,000
T10	Media	0,09	46	0,5	0,5	0,2	1	1	0,2	0,000
	s	7,9	525	40,6	6,7	44,8	28	8	8,1	0,0050 e
T11	Media	b	bc	d	ab	c	d	a	0,4	0,000
	s	0,1	17	0,2	0,8	0,6	1	1	0,4	0,000
T12	Media	8	426	41,3	5,1	41,1	23	7	8,8	0,0038 a
	s	b	b	bd	a	Ab	b	a	0,3	0,000
T13	Media	0,1	35	0,4	0,7	0,8	1	1	0,3	0,000
	s	0,1	35	0,4	0,7	0,8	1	1	0,3	0,000

CE: conductividad eléctrica; RH: retención de humedad; MO: contenido de materia orgánica; CIC: capacidad de intercambio catiónico; N – NH₄: nitrógeno Amoniacal; s: desviación estándar para n=3. Valores con la misma letra en cada parámetro son iguales estadísticamente entre sí, según la Prueba de Dunn's con ajuste de Bonferroni (p < 0,05) o Prueba de Tukey (p<0,05).

el mayor valor de pH lo presenta los sustratos tratados con Trichoderma en la etapa de pregerminación y por aspersión T8 y el tratamiento de control T1, mientras que el de menor valor fue el sustrato del T0 (sustrato pretratamiento). Al realizar un análisis estadístico ANOVA hay evidencia estadística de que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba post hoc de Tukey empleada, el tratamiento T0 es significativamente diferente a los T1, T4, T6, T7 y T8.

El suelo funcionan como fuentes de alcalinidad aquellas sustancias que al reaccionar con el agua producen iones hidroxilo; en este sentido, los cationes alcalinos del suelo están constituidos por las bases, es decir, por los cationes Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ [21].

El pH en particular puede considerarse una variable clave debido a su influencia en muchas otras propiedades y procesos del suelo que afectan el crecimiento de las plantas. La actividad de los microorganismos, así como la solubilidad y disponibilidad de los

nutrientes, son algunos de los procesos más importantes que dependen del pH.

Conductividad del sustrato pre y post tratamiento

El sustrato con un mayor valor de conductividad fue el sustrato del tratamiento T0 (Pretratamiento), mientras que el de menor valor fue el T8 (Trichoderma en pregerminación y por aspersión). De acuerdo con el estudio estadístico realizado, existe una diferencia significativa entre los tratamientos, según el análisis ANOVA realizado.

La CE de las muestras de sustrato tomadas de las plántulas de cacao osciló entre (426 ± 35) - (1812 ± 43) $\mu\text{S}/\text{cm}$. La CE está influenciada por varias propiedades fisicoquímicas del suelo, como la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la humedad del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la salinidad, el pH, el Ca y el Mg, entre otras. La CE es un indicador potencial de la variabilidad espacial del contenido de arcilla y humedad en el suelo. El contenido de arcilla es estable en el tiempo y está asociado al contenido de humedad, afectando al crecimiento y desarrollo de los cultivos [22].

Unas prácticas de riego eficaces, que arrastren las sales solubles fuera del suelo y más allá de la profundidad de enraizamiento, pueden disminuir la CE. Deben evitarse el riego excesivo y el encharcamiento, ya que el aumento del nivel freático puede introducir sales solubles en la zona radicular. En climas áridos, los residuos vegetales y el mantillo ayudan a que los suelos permanezcan más húmedos y, por tanto, permiten que las precipitaciones estacionales y el riego sean más eficaces a la hora de lixiviar las sales de la superficie. Para evitar los efectos adversos de una elevada CE en el agua de riego, debe calcularse la necesidad de lixiviación de cada cultivo. La necesidad de lixiviación es la fracción de agua necesaria para eliminar el exceso de sal por debajo de la zona radicular, es decir, la cantidad de agua adicional necesaria para mantener un nivel de salinidad objetivo [23].

Retención de humedad del sustrato pre y post tratamiento

Para el parámetro de retención de humedad del sustrato, el sustrato tratado con Agrodol + Trichoderma por aspersión, T5, fue el sustrato con el mayor % RH, mientras que el de menor valor, fue el sustrato tratado con Agrohúmicos plus + Trichoderma por aspersión, T6. Estadísticamente según el análisis ANOVA realizado, existe una diferencia significativa entre los tratamientos estudiados, siendo esta diferencia en su mayoría entre los tratamientos T0 y T6.

La interacción entre el suelo, el agua y el crecimiento de las plantas se ha convertido en una cuestión determinante en la gestión del suelo, el agua y los nutrientes para mantener una productividad vegetal sostenible. La disolución de nutrientes y el proceso de movimiento desde la rizosfera hasta la absorción por parte de la planta pueden realizarse bien con

el apoyo del agua del suelo. Por lo tanto, la disponibilidad de agua en el suelo debe ser criticada como el factor limitante para optimizar la producción de cultivos. La textura y la materia orgánica del suelo se han considerado los componentes clave que determinan la retención de agua en el suelo [24].

Contenido de materia orgánica en el sustrato pre y post tratamiento

El contenido de materia orgánica fue mayor en el sustrato tratado con el fertilizante orgánico mineral Agrohúmicos Plus, T3, mientras que el de menor valor fue el sustrato tratado con Trichoderma en la etapa de pregerminación y por aspersión, T8. De acuerdo con análisis ANOVA, existe una diferencia significativa entre los tratamientos, y utilizando la prueba Tukey, se observó que esta diferencia se encuentra entre el T3 con los tratamientos T0, T1, T4 y T8.

Se encontró que un 55,6 % de los tratamientos evaluados estaban con un % MO alto (> 6,1 %). Se ha reportado que los suelos de los sistemas agroforestales de cacao estudiados presentaban valores de contenido de materia orgánica del 9 - 10 %, asociando estos valores a los residuos orgánicos que pueden presentar estos sistemas, que se mineralizan muy lentamente y se acumulan en la superficie del suelo. La materia orgánica (MO) está estrechamente relacionada con los restos vegetales y el tipo de vegetación influye en la calidad y el contenido de materia orgánica del suelo [25].

La descomposición de la materia orgánica suministra cantidades considerables de nutrientes esenciales para el desarrollo de los vegetales y es particularmente importante en el abastecimiento de nitrógeno, azufre y fósforo. Trichoderma es un hongo metabólicamente versátil, capaz de utilizar un amplio rango de biomasa vegetal, incluyendo oligosacáridos como sucrosa, rafinosa y polisacáridos como celulosa, inulina, quitina, pectina, y almidón, así como sustratos más complejos como suero de leche, hidrocarburos del petróleo e incluso plaguicidas, contribuyendo potencialmente a su degradación [26].

Este hongo toma nutrientes de los hongos que parasita y de materiales orgánicos, ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostas favorecen su proliferación [27].

Fósforo disponible en el sustrato pre y post tratamiento

En el caso del fósforo disponible, el mayor valor lo presentan los sustratos tratados con Agrodol + Trichoderma por aspersión, T5, y con Agrohúmicos Plus, T3, mientras que el de menor valor fue el sustrato del T1 (Control). Este parámetro de acuerdo con el análisis ANOVA realizado no hay una diferencia significativa en el fósforo disponible entre los tratamientos.

El fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para la vida de las plantas. Constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, y es componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos. En el sistema suelo-planta, el 90 % del fósforo está en el suelo y menos del 10 % se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90 % es utilizable por los vegetales. A excepción del carbono y el oxígeno que están presentes en la atmósfera de forma utilizable para las plantas, el resto de los nutrientes son tomados del suelo [28].

CIC a pH 7 en el sustrato pre y post tratamiento

La capacidad de intercambio de cationes (CIC) de un suelo es una medida de la cantidad de sitios de carga negativa en la superficie del suelo que puede retener iones de carga positiva (cationes), tales como el Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , por fuerzas electrostáticas. Los cationes retenidos electrostáticamente son fácilmente intercambiables con los cationes en la solución del suelo por lo que un suelo con una CIC más alta tiene una mayor capacidad para mantener cantidades adecuadas de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} que un suelo con una baja CIC. Un suelo con una CIC más alta puede no necesariamente ser más fértil debido a la CIC de un terreno también puede ser ocupado por cationes ácido tales como el H^{+} y Al^{3+} . Sin embargo, cuando se combina con otras medidas de fertilidad del suelo, la CIC es un buen indicador de la calidad del suelo y la productividad [29].

El T7 (Pregerminación con Trichoderma) fue el tratamiento con una mayor cantidad de CIC, mientras que el sustrato tratado con Agrodol, T2, fue el tratamiento con una menor cantidad de CIC. De acuerdo con el análisis estadístico ANOVA existe una diferencia significativa entre los tratamientos estudiados. Esta diferencia se encontró en mayor parte por los T6 y T7 con respecto a los otros tratamientos.

Cationes intercambiables

Los cationes intercambiables son iones positivos que están adheridos a las partículas del suelo y pueden ser intercambiados con otros iones en la solución del suelo. Los tratamientos con una mayor cantidad de calcio intercambiable fueron T3 (Agrohúmicos Plus), T5 (Agrodol + Trichoderma) y T7 (Pregerminación con Trichoderma), mientras que con la menor cantidad de calcio intercambiable está el T0 (Pretratamiento).

El calcio es un catión intercambiable que ejerce una influencia significativa en el crecimiento de las plantas de cacao. Su importancia radica en las múltiples funciones clave que desempeña en el desarrollo y fisiología de estas plantas. En primer lugar, el

calcio es esencial para la formación de la pared celular y la estabilidad de las membranas celulares, lo que contribuye al crecimiento y desarrollo celular adecuado en las plantas de cacao. Además, promueve un sistema radicular saludable y vigoroso, favoreciendo la absorción de agua y nutrientes. Asimismo, el calcio desempeña un papel importante en la regulación de la absorción y transporte de otros nutrientes, manteniendo el equilibrio iónico dentro de las células y facilitando la absorción de nutrientes esenciales [30].

Por otro lado, el magnesio es otro catión intercambiable útil para el crecimiento de las plantas de cacao. Su papel es importante en procesos como la fotosíntesis, donde es un componente esencial de la clorofila, y en la activación de enzimas que regulan procesos metabólicos clave. Además, facilita la absorción de otros nutrientes como el fósforo y el nitrógeno [31]. El tratamiento con una mayor cantidad de magnesio fue el T2 (Agrodol), mientras que el tratamiento que resultó en una menor cantidad fue el T1 (Control). Al realizar un análisis estadístico ANOVA y Tukey para comparaciones múltiples se encontró diferencia significativa entre los tratamientos estudiados, específicamente en T2 y T4 con respecto al resto de los tratamientos.

La interacción entre el hongo *Trichoderma* y un fertilizante órgano-mineral como el Agrodol pudo tener un impacto significativo en la cantidad de magnesio disponible para las plántulas de cacao. Se ha observado que *Trichoderma*, al promover el desarrollo radicular, puede mejorar la absorción de nutrientes, incluido el magnesio en el suelo. Por otro lado, la aplicación de un fertilizante orgánico-mineral que contenga magnesio puede aumentar la disponibilidad de este nutriente para las plantas de cacao [32].

Nitrógeno amoniacal disponible en los sustratos pre y post tratamiento

El tratamiento con una mayor cantidad de nitrógeno amoniacal (N-NH₄) fue el T3 (Agrohúmicos Plus) y el de menor valor fue el T8 (*Trichoderma* por aspersión). Se encontró diferencia significativa entre los tratamientos estudiados.

El nitrógeno es considerado el nutriente más importante en la agricultura debido a su papel en la formación de proteínas, ADN, ARN, etc. El nitrógeno del suelo se presenta en formas orgánicas o inorgánicas. La fracción orgánica constituye la mayor parte del N en el suelo (más del 95 % del total de N) y está compuesta principalmente por restos de plantas y microbios. La fracción inorgánica (menos del 5 % del total de N) comprende iones de amonio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻) y muy poco nitrito (NO₂⁻) [33].

Porcentaje de colonización endofítica

Se obtuvo un porcentaje de colonización endofítica del 50 %, para T5, T6, T7 y T8,

Figura 5. Esta evaluación se realizó de manera morfológica, las colonias de Trichoderma presentaron un radio de 5 a 6 cm, con apariencia aterciopelada en sus etapas tempranas, el micelio presenta un color blanco, sin embargo, eventualmente desarrolla un color blanco verdoso hasta dar una tonalidad verde oliva, además, se produce la formación de anillos concéntricos, aunque no presentaron formación de anillos concéntricos se encontró micelios de consistencia esponjosa con una ligera coloración blanco y verde alrededor del trozo de raíz similar a las cepas de Trichoderma.

El no crecimiento o la falta de desarrollo de la cepa pudo deberse a diversos factores, debido a que las especies de Trichoderma no son exigentes con relación al pH del sustrato.

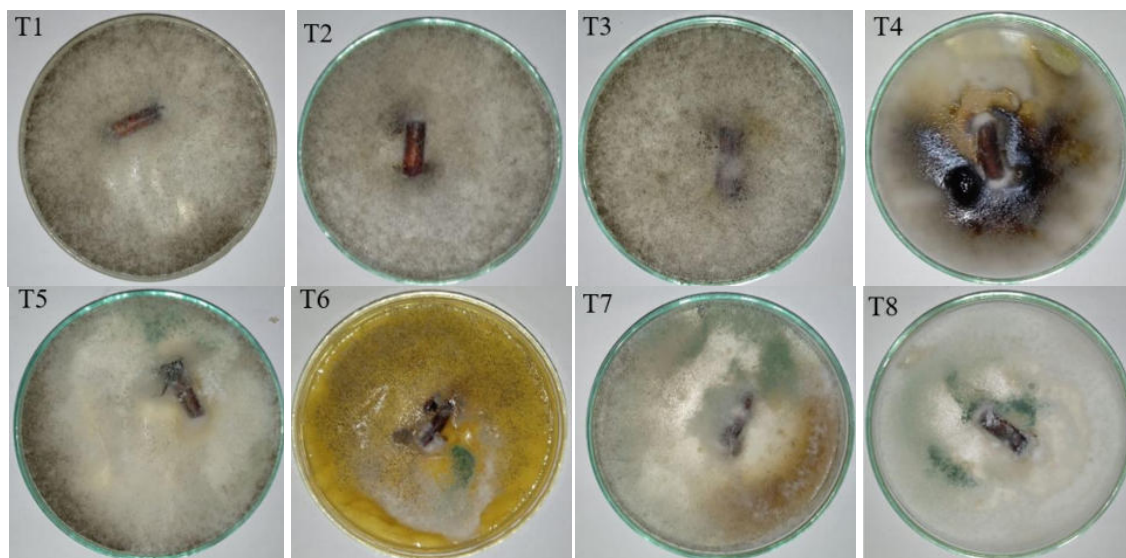


Figura 5. Análisis de colonización endofítica de las plantas de cacao en los tratamientos estudiados.

Pueden crecer en suelos con pH desde 5,5 a 8,5. El desarrollo de Trichoderma se activa con la presencia de humedad, con un valor óptimo de 60 % de la capacidad de retención de humedad del suelo. A porcentajes mayores de saturación, la colonización y sobrevivencia disminuye por baja disponibilidad de oxígeno [34].

En el caso de los T1, T2 y T3 , aunque se encontró formación de micelios no se pudo apreciar la coloración verde característica del hongo Trichoderma, lo que indica que probablemente no se deba al hongo Trichoderma. Los hongos son una parte natural del ecosistema del suelo y desempeñan roles cruciales en la descomposición de materia orgánica, la formación de humus y la promoción de la salud del suelo.

La adopción de insumos como fertilizantes orgánico-minerales y bioestimulantes microbianos representa una inversión inicial mayor que el uso de prácticas convencionales.

No obstante, se ha observado que su uso puede reducir la necesidad de fertilización química repetitiva y control químico de plagas, lo que a mediano plazo disminuye los costos de producción [35].

En un análisis preliminar, el uso combinado de Agrodol y *Trichoderma* spp. podría representar un aumento del 15-20 % en los costos por planta en la etapa de vivero. Sin embargo, si se considera la mejora en el desarrollo radicular y aéreo de las plántulas, esto se traduce en una mayor tasa de supervivencia al trasplante y una reducción en pérdidas por enfermedades. Estos beneficios indirectos pueden compensar ampliamente la inversión inicial [36].

Los resultados en este estudio abren la puerta a futuras investigaciones que validen los efectos observados en condiciones de campo abierto. Se recomienda realizar ensayos multisitio para evaluar la eficacia de los tratamientos bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y con distintos genotipos de cacao [37].

Además, se podría incorporar la evaluación de otros microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR) y biofertilizantes para establecer un paquete tecnológico completo adaptado a sistemas agroecológicos. Asimismo, se recomienda trabajar en la transferencia de conocimientos mediante alianzas con productores, técnicos y viveristas de cacao, lo que promueve la adopción de tecnologías limpias en el manejo del cultivo desde su etapa inicial [38].

Conclusiones

Se evidenció una tendencia de mejora en las plantas tratadas con Agrodol y *Trichoderma* en pre-germinación, lo que sugiere un efecto potencialmente favorable. Además, los parámetros fisicoquímicos del sustrato se mantuvieron dentro de los intervalos adecuados para el crecimiento de las plantas. La colonización endofítica del hongo *Trichoderma* se presentó en el 50 % de los tratamientos, resaltando su capacidad para establecer una simbiosis con las plántulas de cacao.

El uso conjunto de insumos orgánicos y microorganismos benéficos representa una estrategia sostenible para mejorar la producción de plántulas de cacao en vivero. Estos resultados deben seguir siendo explorados con miras a desarrollar estrategias de fertilización sostenible en el desarrollo inicial del cultivo de cacao. Se recomienda escalar esta práctica a nivel de viveros comerciales para fortalecer el sistema productivo del cacao nativo en Venezuela.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó bajo tutoría del Dr. Arnaldo Armado, fue financiado parcialmente por la empresa PROMIVECA y TecnoVita a través del suministro de productos y materiales, mientras que los análisis fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente (LIBSA) de la Universidad de Carabobo, Venezuela.

Declaración de disponibilidad de datos

El autor de correspondencia puede suministrar los registros experimentales obtenidos a toda persona interesada; escribir un correo electrónico con razones justificadas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés en la realización de este estudio. Aunque la empresa PROMIVECA y TecnoVita contribuyeron con el suministro de productos y materiales, y los análisis fueron realizados en el LIBSA de la Universidad de Carabobo, estas entidades no tuvieron influencia en el diseño experimental, la recolección y análisis de datos, ni en la interpretación de los resultados o la elaboración del manuscrito.

Referencias

- [1] A. Climaco, P. Elevina, S. Giovanni, P. Angelica, and F. Hadith, “Physical and sensory quality of the fine-flavored and aromatic cocoas growing in different Venezuelan regions,” *Agric. Food Sci. Res.*, vol. 11, no. 2, pp. 76–86, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.20448/aesr.v11i2.6168>.
- [2] J. C. Rodríguez-Ortiz et al., “Organic vs. Conventional Fertilization: Soil Nutrient Availability, Production, and Quality of Tomato Fruit,” *Water, Air, Soil Pollut.*, vol. 233, no. 3, p. 87, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05545-5>.
- [3] P. Hernández and A. Camardiel, “Association Between Socioeconomic Status, Food Security, and Dietary Diversity Among Sociology Students at the Central University of Venezuela,” *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 5, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.623158>.
- [4] D. N. Putri, H. De Steur, J. G. Juvinal, X. Gellynck, and J. J. Schouteten, “Sensory attributes of fine flavor cocoa beans and chocolate: A systematic literature review,” *J. Food Sci.*, vol. 89, no. 4, pp. 1917–1943, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17006>.
- [5] M. Garvey, E. Meade, and N. J. Rowan, “Effectiveness of front line and emerging

- fungal disease prevention and control interventions and opportunities to address appropriate eco-sustainable solutions,” *Sci. Total Environ.*, vol. 851, p. 158284, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158284>.
- [6] A. Toca, E. Moler, A. Nelson, and D. F. Jacobs, “Environmental conditions in the nursery regulate root system development and architecture of forest tree seedlings: a systematic review,” *New For.*, vol. 53, no. 6, pp. 1113–1143, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09944-8>.
- [7] M. S. Mahmud, A. Zahid, and A. K. Das, “Sensing and Automation Technologies for Ornamental Nursery Crop Production: Current Status and Future Prospects,” *Sensors*, vol. 23, no. 4, p. 1818, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23041818>.
- [8] K. K. M. P. Gonzales, E. C. Gestiada, and N. S. Aggangan, “Efficacy of Biochar-biofertilizer-vermicompost Treatment on *Theobroma cacao* and Rhizosphere Soil Microbial Population,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1145, no. 1, p. 012007, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1145/1/012007>.
- [9] M. Iderawumi Abdulraheem, J. Hu, S. Ahmed, L. Li, and S. Muhammad Zaigham Abbas Naqvi, “Advances in the use of organic and organomineral fertilizers in sustainable agricultural production,” in *Organic Fertilizers - New Advances and Applications [Working Title]*, IntechOpen, 2023. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001465>.
- [10] S. Syed, X. Wang, T. N. V. K. V. Prasad, and B. Lian, “Bio-Organic Mineral Fertilizer for Sustainable Agriculture: Current Trends and Future Perspectives,” *Minerals*, vol. 11, no. 12, p. 1336, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/min11121336>.
- [11] V. V, B. T, and S. Mirji, “Exploring Potential of Organo-mineral Fertilizers in Augmenting Crop Yield and Quality – A Review,” *Adv. Res.*, vol. 25, no. 6, pp. 297–308, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.9734/air/2024/v25i61203>.
- [12] E. F. A. Awad-Allah, I. A. A. Mohamed, S. F. A. A. Allah, A. H. M. Shams, and I. H. Elsokkary, “Trichoderma Species: An Overview of Current Status and Potential Applications for Sustainable Agriculture,” *Indian J. Agric. Res.*, no. Of, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-751>.
- [13] A. Alfiky and L. Weisskopf, “Deciphering Trichoderma–Plant–Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications,” *J. Fungi*, vol. 7, no. 1, p. 61, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/jof7010061>.
- [14] R. Harni, I. Lakani, M. Puspitasari, B. Hafif, and S. Fadhlia, “Effectiveness of

- Trichoderma spp. secondary metabolites formulation in controlling vascular streak dieback of cacao,” IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 1208, no. 1, p. 012016, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1208/1/012016>.
- [15] A. Chavez-Jalk, S. Leiva, L. G. Bobadilla, C. N. Vigo, M. Arce, and M. Oliva-Cruz, “Effect of Endophytic Trichoderma sp. Strains on the Agronomic Characteristics of Ecotypes of Theobroma cacao L. under Nursery Conditions in Peru,” Int. J. Agron., vol. 2022, pp. 1–8, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/5297706>.
- [16] Y. Chen, S. Fang, X. Dai, Y. Liu, and Z. Chen, “Effect of different particle size sand in overburden on radon exhalation rate of uranium tailings reservoir beach surface,” J. Radioanal. Nucl. Chem., vol. 334, no. 2, pp. 1841–1848, Feb. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s10967-024-09944-2>.
- [17] J. Valenzuela-Cobos, F. Guevara-Viejó, P. Galindo-Villardón, and P. Vicente-Galindo, “Three-Dimensional Analysis of the Impact of Different Concentrations of Glyphosate on the Growth of Cocoa (Theobroma cacao),” Appl. Sci., vol. 14, no. 18, p. 8180, Sep. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/app14188180>.
- [18] S. Wahono et al., “Optimization of Cocoa Rootstock Seedling Growth (Theobroma cacao L.) MCC-02 Clone Using KoHeA+MF Organic Fertilizer Application,” J. Agron. Tanam. Trop., vol. 7, no. 1, Jan. 2025, doi: <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i1.4000>.
- [19] J. Briceño, E. Tonato, M. Silva, M. Paredes, and A. Armado, “Impact of metal content in agricultural soils near the Tungurahua volcano on the cultivation of Allium fistulosum L,” La Granja, vol. 32, no. 2, pp. 114–126, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.09>.
- [20] F. E. L. Carvalho, L. D. Escobar-Pachajoa, I. D. Camargo, J. Rojas-Molina, Y. Y. Jaimes-Suárez, and J. J. Rivera-Meneses, “The interspecific interactions in agroforestry systems enhance leaf water use efficiency and carbon storage in cocoa,” Environ. Exp. Bot., vol. 205, p. 105119, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105119>.
- [21] Jaramillo D., Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia.: Universidad Nacional de Colombia, 2002. [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>.
- [22] H. Choo, J. Park, T. T. Do, and C. Lee, “Estimating the electrical conductivity of clayey soils with varying mineralogy using the index properties of soils,” Appl. Clay Sci., vol. 217, p. 106388, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j>.

[clay.2021.106388](https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106388).

- [23] T. Yang et al., “Effect of water application methods on salinity leaching efficiency in different textured soils based on laboratory measurements and model simulations,” *Agric. Water Manag.*, vol. 281, p. 108250, May 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108250>.
- [24] Á. Horel, “Soil–Plant–Water Systems and Interactions,” *Plants*, vol. 13, no. 3, p. 358, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/plants13030358>.
- [25] Chuong V. Huynh, P. T. Nguyen, T. G. Pham, H. T. Nguyen, M. T. H. Nguyen, and P. T. Tran, “Evaluation of Soil Organic Matter Content under Topographic Influences in Agroforestry Ecosystems: a Study in Central Vietnam,” *Eurasian Soil Sci.*, vol. 55, no. 8, pp. 1041–1051, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1134/S106422932208004X>.
- [26] J. He, N. Zhu, Y. Xu, L. Wang, J. Zheng, and X. Li, “The microbial mechanisms of enhanced humification by inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma longibrachiatum* during biogas residues composting,” *Bioresour. Technol.*, vol. 351, p. 126973, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126973>.
- [27] N. D. Organo, S. M. J. M. Granada, H. G. S. Pineda, J. M. Sandro, V. H. Nguyen, and M. Gummert, “Assessing the potential of a *Trichoderma*-based compost activator to hasten the decomposition of incorporated rice straw,” *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 448, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03828-1>.
- [28] Y. Yuan, C. Tang, Y. Jin, K. Cheng, and F. Yang, “Contribution of exogenous humic substances to phosphorus availability in soil-plant ecosystem: A review,” *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 10, pp. 1085–1102, May 2023, doi: <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2120317>.
- [29] L. M. Carmona Rojas, E. A. Gutiérrez Rodríguez, A. M. Henao Ramirez, and A. I. Urrea Trujillo, “Nutrition in cacao (*Theobroma cacao* L.) crops: What determining factors should be considered?,” *Rev. la Fac. Agron.*, vol. 121, no. Especial 2, p. 101, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.24215/16699513e101>.
- [30] F. Letort et al., “Calcium oxalate crystals in cacao trees and their interactions with cadmium,” *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 220, p. 109499, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109499>.
- [31] E. Arévalo-Gardini et al., “Growth, Physiological, Nutrient-Uptake-Efficiency

- and Shade-Tolerance Responses of Cacao Genotypes under Different Shades,” *Agronomy*, vol. 11, no. 8, p. 1536, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081536>.
- [32] Y. Bouhia et al., “Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects,” *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology*, vol. 21, no. 2, pp. 425–446, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y>.
- [33] J. A. Dogbatse, A. Arthur, G. K. Awudzi, A. K. Quaye, S. Konlan, and A. A. Amaning, “Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth and Nutrient Uptake by Young Cacao (*Theobroma cacao* L.),” *Int. J. Agron.*, vol. 2021, pp. 1–10, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.1155/2021/5516928>.
- [34] Y. Martinez, J. Ribera, F. W. M. R. Schwarze, and K. De France, “Biotechnological development of Trichoderma-based formulations for biological control,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 107, no. 18, pp. 5595–5612, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12687-x>.
- [35] N. C. Temegne, A. F. Ngome, A. P. Agendia, and E. Youmbi, “Agroecology for Agricultural Soil Management,” in *Sustainable Intensification for Agroecosystem Services and Management*, Singapore: Springer Singapore, 2021, pp. 267–321. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3207-5_9.
- [36] Y. Miguelez-Sierra, P. Bertin, and A. Hernández-Rodríguez, “Induction of defence responses in cacao against *Phytophthora palmivora* by *Pseudomonas chlororaphis* CP07,” *Eur. J. Plant Pathol.*, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02982-2>.
- [37] N. M. C. Eyango et al., “Genetic diversity and verification of plant material compliance of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Barombi-Kang Regional variety trial,” *PLoS One*, vol. 20, no. 4, p. e0322169, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322169>.
- [38] P. K. Rai, A. Rai, N. K. Sharma, T. Singh, and Y. Kumar, “Limitations of biofertilizers and their revitalization through nanotechnology,” *J. Clean. Prod.*, vol. 418, p. 138194, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138194>.

Kevyn Porras, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela

Kevyn Porras es egresado del Departamento de Química en la Universidad de Carabobo, desarrolló su trabajo de titulación en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y

Ambiente, LIBSA, adscrito al Centro de Investigación y Extensión en Ambiente, Biología y Química, AMBIOQUIM. Su investigación se centró en el desarrollo de plántulas de cacao criollo, variedad Canoabo (*Theobroma cacao* L.), utilizando fertilizantes orgánico-minerales y el hongo *Trichoderma* spp. Ha trabajado en la evaluación de parámetros biométricos, fisicoquímicos y de colonización endofítica en sistemas de cultivo sostenible. Su enfoque combina metodologías disruptivas con técnicas tradicionales para promover la sostenibilidad y la productividad agrícola.

Kevyn Porras is a graduate of the Chemistry Department at the University of Carabobo. He carried out his degree project at the Laboratory of Biochemical, Soil, and Environmental Research (LIBSA), affiliated with the Research and Extension Center for Environment, Biology, and Chemistry (AMBIOQUIM). His research focused on the development of Criollo cacao seedlings, Canoabo variety (*Theobroma cacao* L.), using organic-mineral fertilizers and the fungus *Trichoderma* spp. He has worked on evaluating biometric, physicochemical, and endophytic colonization parameters in sustainable cultivation systems. His approach combines innovative methodologies with traditional techniques to promote agricultural sustainability and productivity.

Domenico Fabio Pavone Maniscalco, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela

Domenico Fabio Pavone Maniscalco es biólogo, profesor universitario y fue Director del Departamento de Biología de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, FaCyT, de la Universidad de Carabobo. Se desempeña en el Centro de Biotecnología Aplicada y ha publicado sobre temas como el biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas, incluyendo el uso de *Trichoderma* en cultivos como el pimentón.

Domenico Fabio Pavone Maniscalco is a biologist and university professor who served as Director of the Biology Department at the Experimental Faculty of Science and Technology (FaCyT) of the University of Carabobo. He works at the Center for Applied Biotechnology and has published research on topics such as the biocontrol of agricultural pests and diseases, including the use of *Trichoderma* in crops such as bell pepper.

Diego David Moposita Vásquez, Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico “Alpachaca” Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador

Diego David Moposita Vásquez es profesor en la Universidad Estatal de Bolívar, UEB, Ecuador. Ha colaborado en investigaciones sobre el análisis composicional de la malanga (*Xanthosoma*).

Diego David Moposita Vásquez is a professor at the State University of Bolívar (UEB), Ecuador. He has collaborated on research focused on the compositional analysis of malanga (*Xanthosoma*).

Arnaldo José Armado Matute, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela

Arnaldo José Armado Matute es profesor e investigador de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Se ha desempeñado como Director de Ambioquim, Coordinador del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelo y Ambiente (LIBSA), y Director Ejecutivo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH-UC). Su línea de investigación se centra en la ecotoxicología, con énfasis en la evaluación del impacto de metales pesados sobre la calidad de suelos y aguas, así como en la diversidad bacteriana edáfica. Además, desarrolla estudios en la formulación de fertilizantes orgánicos, sustratos biofertilizantes y extractos naturales con propiedades insecticidas y repelentes. Ha colaborado en investigaciones relacionadas con la contaminación por metales y su influencia sobre parámetros bioquímicos y biológicos del suelo, aportando soluciones sostenibles para el manejo ambiental y la agricultura.

Arnaldo José Armado Matute is a professor and researcher at the University of Carabobo, Venezuela. He has served as Director of Ambioquim, Coordinator of the Biochemical, Soil and Environmental Research Laboratory (LIBSA), and Executive Director of the Council for Scientific and Humanistic Development (CDCHUC). His research focuses on ecotoxicology, with an emphasis on assessing the impact of heavy metals on soil and water quality, as well as on soil bacterial diversity. Additionally, he conducts studies on the formulation of organic fertilizers, biofertilizer substrates, and natural extracts with insecticidal and repellent properties. He has collaborated in research projects addressing metal contamination and its influence on soil biochemical and biological parameters, contributing sustainable solutions for environmental management and agriculture.

Contenido de fósforo en tibia ósea bovina, y potencial del hueso bovino para incrementar el perfil nutricional de suelos agrícolas

Phosphorus content in tibia bovine bone, and potential of bovine bones to increase the nutritional profile of agricultural soils

Sebastián Cestari-Abreu*¹  y Saúl Flores² .

¹Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Centro de Biotecnología Agrícola, Laboratorio de Biofertilizantes y Biocontroladores. Panamericana km 11, Altos de Pipe, Los Salias, Miranda. Venezuela. <https://ror.org/02ntheh91>. sebastian.cestari@gmail.com

²Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Centro de Ecología, Laboratorio de Suelos, Ambiente y Agricultura. Panamericana km 11, Altos de Pipe, Los Salias, Miranda. Venezuela. <https://ror.org/02ntheh91>. jassanflores@gmail.com

*Autor para correspondencia: sebastian.cestari@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.5>

Resumen

El propósito del trabajo fue determinar el contenido de fósforo total y de fósforo extraíble en agua de una muestra ósea incinerada de tibia bovina sin médula. En cuanto a la extracción del fósforo total, tres digestiones ácidas fueron comparadas, es decir, ácido nítrico y ácido perclórico, ácido clorhídrico y peróxido de hidrógeno, y ácido clorhídrico; la muestra ósea fue incinerada a 800 °C por 8 horas antes de las digestiones en cuestión. Relativo al fósforo extraíble en agua, dos relaciones hueso:agua fueron contrastadas, es decir, 1:100 y 1:200. La masa de fósforo total por masa ósea incinerada seca (DW) fue de $44,177 \pm 0,810$ % P_2O_5 (m/m DW); las tres digestiones ácidas arrojan valores pragmáticamente similares. El contenido de fósforo extraíble en agua por masa seca del material óseo incinerado fue de $0,013 \pm 0,001$ y $0,040 \pm 0,001$ % P_2O_5 (m/m DW) para las razones 1:100 y 1:200, respectivamente; la mayor fracción de fósforo en la relación 1:200, a pesar de ser la alternativa más diluida, podría ser resultado de un impacto menor de este sobre el pH de la mezcla, que podría haber favorecido un mayor desplazamiento de fósforo al agua. Si la referencia es la masa de fósforo extraíble en agua de la razón 1:200, entonces, por cada 100 g de fósforo total contenido en la muestra ósea incinerada, solo 0,093 g de éste es fósforo extraíble en agua.

Palabras claves: bovino, fósforo, fósforo soluble en agua, fósforo total, hueso.

Citación sugerida: Cestari-Abreu S. y Flores S. (2025). Contenido de fósforo en tibia ósea bovina, y potencial del hueso bovino para incrementar el perfil nutricional de suelos agrícolas. En *Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos* (pp. 113–121). Colección seriada: *Glebe*, 1(1). <https://doi.org/10.63804/gb.1.2.5>.



Abstract

The objective of this work was to determine the total phosphorus and the water-extractable phosphorus content of an incinerated bovine tibia bone sample without marrow. Regarding the extraction of total phosphorus, three acid digestions were compared, that is nitric acid and perchloric acid, hydrochloric acid and hydrogen peroxide, and hydrochloric acid. The bone sample was incinerated at 800 °C for 8 hours before the digestions in question. With respect to water-extractable phosphorus, two bone:water ratios were contrasted, that is 1:100 and 1:200. The total phosphorus per dry mass of the incinerated bone was $44,177 \pm 0,810$ % P_2O_5 (w/w DW), and the three acid digestions gave pragmatically similar values. The water-extractable phosphorus content per dry mass of the incinerated bone material was $0,013 \pm 0,001$ and $0,040 \pm 0,001$ % P_2O_5 (w/w DW) for the ratios 1:100 and 1:200, respectively. The higher fraction of phosphorus in the 1:200 ratio, despite being the most diluted alternative, could be the result of a lower impact of this on the pH of the extracting mix, which could have favored a greater movement of phosphorus to the water. If the benchmark is the content of water-extractable phosphorus in the ratio 1:200, then for every 100 g of total phosphorus contained in the incinerated bone sample, only 0.093 g of it is water-extractable phosphorus.

Keywords: bone, bovine, phosphorus, total phosphorus, water-extractable phosphorus.

Introducción

El fósforo es uno de los nutrientes elementales para el sustento vegetal [1]. Las demandas de fósforo agrícola provienen de la explotación de los yacimientos de roca fosfórica; esto entraña una actividad minera con perjuicio ambiental [2] [3], así que, con el objetivo de promover una economía amigable con el ambiente, resulta adecuado encontrar alternativas a la roca fosfórica entre los residuos orgánicos de la cadena antrópica de consumo, y los desperdicios óseos representan una opción en este contexto [4]. El hueso animal deriva de una matriz de colágeno con cristales minerales en su interior, entre los que sobresalen aquellos de hidroxiapatita, que son ricos en fósforo [5]. El fósforo en la hidroxiapatita es recalcitrante, es decir, fuertemente enlazado al mineral; a más recalcitrante sea el fósforo, más difícil será su extracción para su posterior medición o uso [4]. Para liberar el fósforo total (FT) de esta matriz, la muestra puede exponerse a ácidos en presencia o ausencia de agentes oxidantes; diferentes ácidos y agentes oxidantes pueden evaluarse para identificar aquella combinación que mejor extracción ofrece [6] [7]. Ahora, no basta medir el FT de una enmienda agrícola, sino que debe determinarse también su contenido de fósforo biodisponible (FB), es decir, la fracción del FT que es asimilable por la vegetación

circundante [8]. Para medir FB, primero, la muestra debe someterse a una extracción con algún agente inerte que separe el fósforo lábil o pobremente adsorbido de la matriz de la muestra [8] [9]; autores han sugerido distintos agentes de extracción, pero el agua es el disolvente por excelencia en la naturaleza y aquel usado en las actividades agrícolas [10].

El propósito del trabajo es medir el contenido de FT y de FB de una muestra de tibia bovina incinerada sin médula para proveer el % FB (m/m FT) de ésta; esto permite ratificar si el resto orgánico en cuestión es realmente una fuente recalcitrante de fósforo en comparación a otros abonos rutinariamente usados en la agricultura orgánica. Al mismo tiempo, el estudio busca comparar la eficacia de tres tratamientos ácidos para la digestión de la muestra ósea, así como de dos ratios hueso : agua para la extracción de FB; en concreto, digestión con ácido perclórico y predigestión con ácido nítrico, con ácido clorhídrico, y con ácido clorhídrico junto a peróxido de hidrógeno, y los ratios 1:100 y 1:200, respectivamente.

Metodología

Digestión de material óseo

Todos los tratamientos partieron de una masa de 200 mg de muestra ósea bovina incinerada sin médula cernida ($\leq 100 \mu\text{m}$) (OIM); ésta fue obtenida tras una incineración a 800 °C por 8 h del hueso fresco y limpio de restos de médula. Para la digestión con ácido perclórico, un volumen de 3 ml de HNO_3 65 – 70 % (m/m) fue añadido a la muestra para luego calentar a 150 °C por 20 min; procedió la adición de 4 ml de HClO_4 60 % (m/m) y un calentamiento a 90 °C por 40 min. La digestión con ácido clorhídrico y peróxido de hidrógeno involucró el agregado de 4, 3 y 3 mL de HCl 6 M, H_2O_2 30 % (m/m) y HCl 6 M, respectivamente, en el antedicho orden; continuó un calentamiento a 150 °C por 20 min. Finalmente, el tratamiento con ácido clorhídrico entrañó el uso de 7 ml HCl 6 M y una digestión a 150 °C por 20 min. Para todos los casos, la muestra ya digerida fue aforada a 50 ml con agua destilada.

Extracción de fósforo soluble en agua

El fósforo extraíble en agua o FB de la muestra ósea en cuestión fue obtenido con base en el método descrito por Kleinman et al. [10] con algunas modificaciones. Concretamente, una masa fresca de OIM equivalente a 5,0 g de OIM seca fue introducida en un matraz de capacidad 500 mL, y agua suficiente fue agregado hasta completar los 500 mL (1:100, m/v); prosiguió una agitación por 1 h con agitador magnético, una centrifugación a 4000 rpm por 10 min y, por último, un filtrado por papel Whatman® 42. Lo anterior fue

replicado con una masa fresca de OIM equivalente a 2,5 g de MOI seca (1 : 200, m/v).

Determinación de fósforo

El FT fue determinado por el método amarillo de metavanadato según Kuo [9]; la curva de calibración entrañó nueve puntos, es decir, 0, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 450 $\mu\text{g P/L}$. El FB fue medido por el método ácido ascórbico con base en Baird et al. [11]; la curva de calibración involucró una curva de calibración con seis puntos, es decir, 0, 5, 10, 15, 20 y 25 $\mu\text{g P/L}$.

Análisis estadístico

Los diferentes tratamientos fueron comparados con pruebas de suma de rango de Wilcoxon; los análisis fueron emprendidos en R v4.3.0 [12].

Resultados y discusión

El contenido de FT de la muestra ósea incinerada para cada una de las digestiones ácidas evaluadas es reflejado en la Tabla 1. Algunos autores señalan al ácido perclórico como uno de los mejores agentes de digestión por su poder acidificante y oxidante [7] [9]; en este sentido, la estimación inicial fue que la digestión del sustrato óseo con el tratamiento $\text{HNO}_3 / \text{HClO}_4$ daría los valores más altos de FT, pero fue el de HCl el que condujo a los mejores resultados. Ahora, a pesar de que los ensayos $\text{HNO}_3 / \text{HClO}_4$ y HCl fueron estadísticamente distintos, desde una óptica práctica, los tres tratamientos evaluados condujeron a resultados similares; en este sentido, los laboratorios podrían hacer uso de aquella opción que mejor se ajuste a sus exigencias. Por último, en el proceso de incineración fue obtenida una masa promedio de 70 g de hueso incinerado por cada 100 g de hueso seco introducido, por lo tanto, la media para todos los registros de FT ($n = 60$) fue de $44,177 \pm 0,810 \% \text{P}_2\text{O}_5$ (m/m DW) por masa incinerada o $30,924 \pm 0,567 \% \text{P}_2\text{O}_5$ por masa deshidratada; el contenido promedio de fósforo en hueso seco no incinerado es de $26,121 \pm 11,915 \% \text{P}_2\text{O}_5$ según Möller et al. [4], por consiguiente, los resultados obtenidos entran dentro de lo registrado en la literatura.

Tabla 1: Contenido de fósforo total en tibia bovina incinerada.

Tratamiento	N	% P (m/m DW)*	% P_2O_5 (m/m DW)*
$\text{HClO}_4/\text{HNO}_3$	24	$19,172 \pm 0,400^a$	$43,930 \pm 0,916^a$
$\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}_2$	12	$19,202 \pm 0,183^{ab}$	$43,999 \pm 0,420^{ab}$
HCl	24	$19,427 \pm 0,327^b$	$44,514 \pm 0,748^b$

* Masa de fósforo por cada 100 g de hueso incinerado, molido y seco (DW). Letras diferentes en una misma

columna, tratamientos distintos según la prueba de suma de rangos de Wilcoxon.

La Tabla 2 resume el contenido de FB de la muestra ósea incinerada en cuestión. La relación 1:200 (m/v) concluyó en un contenido de FB estadísticamente mayor que aquel registrado para 1:100. La hidroxiapatita contiene iones hidróxido [13], y el fósforo reduce su solubilidad en entornos alcalinos cuando está acomplejado con minerales de calcio [8]; en este sentido, el mayor contenido de muestra ósea en el tratamiento 1:100 pudo haber desempeñado un efecto alcalinizante en la mezcla acuosa, y, en consecuencia, haber reducido el desplazamiento de fósforo desde la muestra al agua. La resolución de lo anterior no fue objetivo específico del presente trabajo, no obstante, trabajo futuro será realizado para dilucidar si esta observación es resultado de un cambio de pH de la mixtura de extracción.

Tabla 2. Fósforo extraíble en agua en tibia bovina incinerada.

Extracción	N	% P (m/m DW)*	% P ₂ O ₅ (m/m DW)*
1:100	18	0,006 ± 0,001 ^a	0,013 ± 0,001 ^a
1:200	18	0,018 ± 0,001 ^b	0,040 ± 0,001 ^b

* Masa de fósforo por cada 100 g de hueso incinerado, molido y seco (DW). Letras diferentes en una misma columna, tratamientos distintos según la prueba de suma de rangos de Wilcoxon.

Cuando el contenido FB de la relación 1:200 es considerado, el % FB es igual a 0,091 % (m/m FT), es decir, por cada 100 g de FT del hueso incinerado evaluado, tan solo 0,091 g son FB. Este último valor es bajo en comparación con el de otras enmiendas orgánicas; por ejemplo, un compost de estiércol de vaca y otro de gallinaza dieron % FB de 14,71 % y 23,37 %, respectivamente [14], en cambio, residuos de cama para gallinas de engorde dieron valores de 11 – 22 % [15]. Expuesto lo anterior, la evidencia apunta a que la muestra ósea incinerada evaluada, en efecto, es una fuente recalcitrante de fósforo; éste es rico en FT, pero la vegetación circundante tendría acceso difícil a este nutriente. Futura investigación será emprendida en miras de evaluar la posibilidad de aumentar la fracción FB de hueso incinerado; el empleo de bacterias solubilizadoras de fosfato, que están descritas como microorganismos capaces de solubilizar formas recalcitrantes de fósforo [16], podría resultar una vía viable para este objetivo.

Conclusiones

La muestra de tibia bovina incinerada (sin médula) presentó una alta concentración total de fósforo, y los métodos de digestión ácida evaluados muestran una equivalencia

práctica en cuanto al contenido determinado de fósforo total. En contraste, el fósforo extraíble en agua fue muy bajo, incluso en relaciones de dilución relativamente altas. En consecuencia, esta muestra puede clasificarse como una fuente de fósforo recalcitrante, de difícil solubilización o disponibilización bajo condiciones acuosas estándares evaluadas.

Agradecimientos

Los autores extienden agradecimientos a los Doctores Jorge Paolini, Danilo López, Marcia Toro y Jesmary Rosas por sus orientaciones.

Declaración de disponibilidad de datos

El autor de correspondencia puede suministrar los registros experimentales obtenidos a toda persona interesada; escribir un correo electrónico con razones justificadas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Bibliografía

- [1] Food and Agriculture Organization (FAO), “Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde, Roma, Italia, 1996.
- [2] D. Childers, J. Corman, M. Edwards, and J. Elser, “Phosphorus and food: solutions from closing the human phosphorus cycle”, *BioScience*, vol. 61, no. 2, 2011. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.2.6>.
- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), “Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde,” Roma, Italia, 1996. [Online]. Available: <https://openknowledge.fao.org/items/0e74d437-435d-490e-b579-c7c5c80c012b>.
- [2] D. L. Childers, J. Corman, M. Edwards, and J. J. Elser, “Sustainability Challenges of Phosphorus and Food: Solutions from Closing the Human Phosphorus Cycle,” *Bioscience*, vol. 61, no. 2, pp. 117–124, Feb. 2011, doi: <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.2.6>.
- [3] D. Cordell, J.-O. Drangert, and S. White, “The story of phosphorus: Global food security and food for thought,” *Glob. Environ. Chang.*, vol. 19, no. 2, pp. 292–305, May 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>.

- [4] K. Möller et al., “Improved Phosphorus Recycling in Organic Farming: Navigating Between Constraints,” 2018, pp. 159–237. doi: 10.1016/bs.agron.2017.10.004.
- [5] A. Rauf, “Animal bone: A brief introduction,” *Int. J. Sci. Environ. Technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 1458–1464, 2014.
- [6] O. Popovic, M. Hjorth, and L. Stoumann Jensen, “Phosphorus, copper and zinc in solid and liquid fractions from full-scale and laboratory-separated pig slurry,” *Environ. Technol.*, vol. 33, no. 18, pp. 2119–2131, Sep. 2012, doi: <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.660649>.
- [7] M. Bender and C. W. Wood, “Total phosphorus in soil,” in *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters*, 1st ed., G. M. Pierzynski, Ed., Southern Cooperative Series Bulletin No. 396, North Carolina State University, 2000, pp. 45–49.
- [8] P. A. Sanchez, *Properties and Management of Soils in the Tropics*, 2nd ed. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2019.
- [9] S. Kuo, “Phosphorus,” in *Methods of Soil Analysis: Part 3 – Chemical Methods*, D. L. Sparks, Ed., in *SSSA Book Series No. 5.*, Madison, WI: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996, pp. 869–919.
- [10] P. Kleinman et al., “Selection of a Water-Extractable Phosphorus Test for Manures and Biosolids as an Indicator of Runoff Loss Potential,” *J. Environ. Qual.*, vol. 36, no. 5, pp. 1357–1367, Sep. 2007, doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0450>.
- [11] R. B. Baird, A. D. Eaton, and E. W. Rice, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017.
- [12] R Core Team, “R: A Language and Environment for Statistical Computing,” 2023, Vienna, Austria. [Online]. Available: <https://www.r-project.org/>
- [13] G. Malcangi et al., “Analysis of Dental Enamel Remineralization: A Systematic Review of Technique Comparisons,” *Bioengineering*, vol. 10, no. 4, p. 472, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/bioengineering10040472>.
- [14] A. Sharpley and B. Moyer, “Phosphorus Forms in Manure and Compost and Their Release during Simulated Rainfall,” *J. Environ. Qual.*, vol. 29, no. 5, pp. 1462–1469, Sep. 2000, doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900050012x>.

- [15] A. B. Leytem, P. W. Plumstead, R. O. Maguire, P. Kwanyuen, and J. Brake, “What Aspect of Dietary Modification in Broilers Controls Litter Water-Soluble Phosphorus,” *J. Environ. Qual.*, vol. 36, no. 2, pp. 453–463, Mar. 2007, doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0334>.
- [16] A. Bargaz, W. Elhaisoufi, S. Khourchi, B. Benmrid, K. A. Borden, and Z. Rchiad, “Benefits of phosphate solubilizing bacteria on belowground crop performance for improved crop acquisition of phosphorus,” *Microbiol. Res.*, vol. 252, p. 126842, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126842>.

Sebastián Cestari-Abreu, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Centro de Biotecnología Agrícola, Laboratorio de Biofertilizantes y Biocontroladores. Panamericana km 11, Altos de Pipe, Los Salias, Miranda. Venezuela

Sebastián Cestari pertenece al Laboratorio de Biofertilizantes y Biocontroladores del Centro de Biotecnología Agrícola, y colabora con el Laboratorio de Ecología de Suelos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Es un investigador enfocado en la sostenibilidad agrícola, con amplia experiencia en la utilización de residuos orgánicos para mejorar la calidad del suelo. Cestari es Licenciado en Ciencias Biológicas y ha dedicado su carrera al desarrollo de tecnologías en biofertilización y manejo sostenible de recursos naturales. Ha liderado proyectos de investigación que combinan técnicas avanzadas de análisis químico con enfoques microbiológicos, buscando maximizar la eficiencia en la liberación de nutrientes y su impacto en el rendimiento de cultivos. Además de su labor científica, Cestari participa en la divulgación del conocimiento, colaborando con agricultores y empresas para implementar prácticas agrícolas sostenibles.

Sebastián Cestari is affiliated with the Biofertilizers and Biocontrol Laboratory at the Center for Agricultural Biotechnology and collaborates with the Soil Ecology Laboratory of the Venezuelan Institute for Scientific Research (IVIC). He is a researcher focused on agricultural sustainability, with extensive experience in using organic residues to improve soil quality. Cestari holds a Bachelor’s degree in Biological Sciences and has dedicated his career to developing technologies in biofertilization and sustainable natural resource management. He has led research projects that combine advanced chemical analysis techniques with microbiological approaches, aiming to maximize nutrient release efficiency and its impact on crop yield. In addition to his scientific work, Cestari engages in knowledge dissemination, collaborating with farmers and companies to implement sustainable agricultural practices.

Saúl Flores, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Centro de Ecología, Laboratorio de Suelos, Ambiente y Agricultura. Panamericana km 11, Altos de Pipe, Los Salias, Miranda. Venezuela

Saúl Ramón Flores Acosta es biólogo y doctor en Ciencias Ambientales, actualmente desempeñándose como Profesional Asociado a la Investigación J-3 en el Centro de Ecología del

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Con más de 35 años de trayectoria, ha liderado proyectos en ecología de suelos, agricultura sostenible y restauración ecológica. Destaca su iniciativa para recuperar suelos abandonados dentro del IVIC, donde implementó cultivos de café orgánico que fueron reconocidos entre las 60 mejores variedades de Venezuela. Su trabajo ha sido determinante en la promoción de la identidad y excelencia del café del estado Miranda, recibiendo reconocimiento por su contribución al desarrollo cafetalero regional..

Saúl Ramón Flores Acosta is a biologist and holds a Ph.D. in Environmental Sciences. He currently serves as an Associate Research Professional J-3 at the Ecology Center of the Venezuelan Institute for Scientific Research (IVIC). With over 35 years of experience, he has led projects in soil ecology, sustainable agriculture, and ecological restoration. Notably, he initiated the recovery of abandoned soils within IVIC, where he implemented organic coffee cultivation that was recognized among the 60 best varieties in Venezuela. His work has been instrumental in promoting the identity and excellence of coffee from Miranda state, earning recognition for his contribution to regional coffee development.

Conclusiones generales

El conjunto de investigaciones presentadas en esta obra muestra la necesidad y viabilidad de adoptar enfoques agroecológicos y sostenibles en gestión del suelo y fertilización de cultivos. Desde la evaluación de técnicas accesibles de análisis de suelos hasta el uso de residuos orgánicos como enmiendas, cada capítulo aporta elementos importantes para fortalecer la agricultura basada en la ciencia para mejorar las condiciones locales.

Uno de los aspectos más importantes es la validación de metodologías de campo como herramientas prácticas para el diagnóstico rápido de suelos, lo cual permite democratizar el conocimiento técnico y fortalecer la capacidad de respuesta de los pequeños y medianos productores. Esto es importante en los principios de soberanía tecnológica y agroecología, lo cual promueve una agricultura más resiliente y adaptativa.

La evidencia recogida en los distintos estudios apunta que la integración de prácticas innovadoras, accesibles y contextualizadas puede mejorar la fertilidad del suelo, optimizar los rendimientos agrícolas y reducir la dependencia de insumos externos. En este sentido, el libro ofrece aportes técnicos y contribuye a la transformación de los sistemas agrícolas hacia modelos más justos, sostenibles y adaptados al cambio climático.

Por otro lado, el estudio del fósforo en hueso bovino incinerado ofrece una alternativa concreta al uso de fertilizantes sintéticos, ahí se muestra que es posible aprovechar residuos pecuarios para cerrar ciclos de nutrientes. Esta propuesta se complementa con los experimentos enfocados en la eficacia de combinaciones de fertilización orgánica e inorgánica, y del uso de microorganismos benéficos como *Trichoderma* spp., para el desarrollo y rendimiento de cultivos de interés económico y alimentario, como el cacao, el ají y el pasto bermuda.

Finalmente, se pretende que las estrategias expuestas en esta obra sirvan de base para políticas de extensión agrícola, programas de formación técnica y futuras investigaciones orientadas al desarrollo de bioinsumos, tecnologías apropiadas y sistemas productivos regenerativos. La articulación entre ciencia, territorio y experiencia campesina es determinante para avanzar hacia una agricultura que cuide el suelo como patrimonio común de la humanidad.

Este libro ofrece soluciones prácticas y sustentadas para el manejo eficiente del suelo y la fertilización de cultivos. A través de estudios aplicados, se exploran técnicas accesibles, el uso de bioinsumos y alternativas orgánicas que pueden mejorar la productividad agrícola sin comprometer el ambiente. Dirigido a técnicos agropecuarios, estudiantes, investigadores y productores, el contenido combina experiencia de campo con rigor científico, convirtiéndose en una guía útil para quienes buscan aplicar conocimientos actualizados en contextos reales.

This book offers practical, evidence-based solutions for efficient soil management and crop fertilization. Through applied studies, it explores accessible techniques, the use of bio-inputs, and organic alternatives to enhance agricultural productivity without harming the environment. Aimed at agricultural technicians, students, researchers, and producers, the content combines field experience with scientific rigor, serving as a useful guide for those looking to apply up-to-date knowledge in real-world contexts.



EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA

GLEBE

E-ISSN:3103-1234

ISBN: 978-9942-7391-6-2



9 789942 739162

FRECUENCIA
CUATRIMESTRAL